

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 10 月 28 日 (28.10.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/091829 A1(51) 国際特許分類⁷: B22D 11/115, 11/04,
11/108, 11/11, 11/113, C22C 38/14

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/000864

(22) 国際出願日: 2004 年 1 月 29 日 (29.01.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-108344 2003 年 4 月 11 日 (11.04.2003) JP
特願2003-117340 2003 年 4 月 22 日 (22.04.2003) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): J F E
スチール株式会社 (JFE STEEL CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番
3 号 Tokyo (JP).

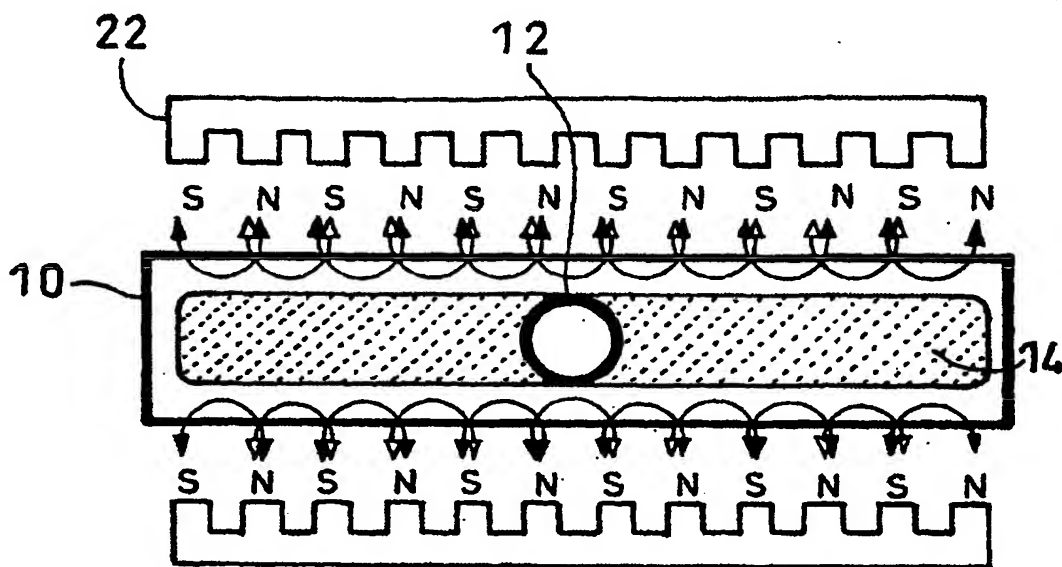
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 三木 祐司 (MIKI,
Yuji) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社 知的財産部
内 Tokyo (JP). 竹内 秀次 (TAKEUCHI, Shuji) [JP/JP];
〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 山
内 章 (YAMAUCHI, Akira) [JP/JP]; 〒1000011 東京都
千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式
会社 知的財産部内 Tokyo (JP).(74) 代理人: 小林 英一 (KOBAYASHI, Eiichi); 〒2730005
千葉県船橋市本町 6 丁目 1 番 7 号 エスペランサ K
Chiba (JP).(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: CONTINUOUS CASTING METHOD FOR STEEL

(54) 発明の名称: 鋼の連続 casting 方法



(57) Abstract: Three or more electromagnets are arranged along the direction of the longer sides of a mold, and, while an oscillating magnetic field is being generated, the peak position of the oscillating magnetic field is moved along the direction of the longer sides of the mold.

(57) 要約: 鑄型の長辺方向に沿って 3 個以上の電磁石を並べ、振動磁界を発生させながら、その振動磁界のピーク位置を鑄型の長辺方向に沿って移動させる。



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

鋼の連続鑄造方法

技術分野

本発明は、鋼の連続鑄造方法に関し、特に連続鑄造用鑄型（以下、鑄型という）へ溶鋼を供給するノズルから不活性ガスを吹き込むことなく、磁界を印加することによって鑄型内の溶鋼流動を改善する鋼の連続鑄造方法に関する。

背景技術

近年、自動車用鋼板を中心として、鋼製品の品質向上の要求が厳しくなり、スラブの段階から清浄度の優れた高品質のスラブの要求が高まっている。このような高品質のスラブを製造する方法としては、特開平 11-100611 号公報に、溶鋼に含まれる介在物を低融点化することにより、鑄型へ溶鋼を供給するための浸漬ノズルの閉塞を防止して、ノズルからアルゴン（Ar）等の不活性ガスを吹き込むことなく、溶鋼を連続鑄造するガスレス鑄造技術が開示されている。

このように、不活性ガスの吹き込みを無くして連続鑄造すると、得られる鑄片の表面に気泡が捕捉されることがなくなるために、ガスを吹き込む場合に比べて表面性状を向上できる。ところが、鑄型内の溶鋼温度が低下することによって局部的にモールドフラックスの凝固が起こり、それが溶鋼中に巻き込まれて、内部欠陥の原因となるという問題点がある。さらに、表面性状の一層の向上も求められている。

ところで、スラブの欠陥には、介在物や気泡に起因するものや、溶鋼中の成分の偏析に起因するものがあり、鑄型内の溶鋼流動は、これらと深い関係があるた

め、従来から多くの研究、発明がなされてきた。その一つとして、鑄型内の溶鋼流動を磁界を用いて制御する方法が考えられている。

例えば、(A) 移動磁界に直流磁界を重畳したものとして、特開平 10-305353 号公報に、鑄型長辺を挟み対向する上下 2 段の磁極を鑄型長辺背面に配置し、(a) 下側に配置した磁極に直流静磁界と交流移動磁界とが重畳された磁界とする、あるいは、(b) 上側に配置した磁極に直流静磁界と交流移動磁界とが重畳された磁界とし、下側に配置した磁極に直流静磁界を印加する鑄型内溶鋼流動の制御方法が開示されている。

又、特許第 3067916 号公報に、複数個設置した電気コイルに適当なりニア駆動用交流電流と制動用直流電流を流すことにより、鑄型内の溶鋼流動を制御する装置が開示されている。

又、特開平 5-154623 号公報に、位相が 120 度ずつずれた交流移動磁界と直流静磁界とを重畳する鑄型内流動制御方法が開示されている。

又、特開平 6-190520 号公報に、浸漬ノズル吐出孔の上方に置いた磁石により、幅方向全域に静磁界と高周波磁界を重畳して作用させると共に、吐出孔の下方に置いた磁石により、静磁界を作用させる鋼の鑄造方法が開示されている。

(B) 上部直流磁界と下部移動磁界を組合せたものとして、特開昭 61-193755 号公報に、浸漬ノズルから吐出された溶鋼流を包囲する位置に静磁場をかけ、流速を低下させると共に、静磁場よりも下流位置に電磁攪拌装置を設置して水平方向に攪拌する電磁攪拌方法が開示されている。

(C) 上部移動磁界と下部直流磁界を組合わせたものとして、特開平 6-226409 号公報に、湯面から吐出孔（下向き 50 度以上）の間に極芯中心を設置した磁石により移動磁界を作用させると共に、極芯中心を浸漬ノズルより下部に設置した磁石により静磁場を作用させる鑄造方法が開示されている。

又、特開平 9-262651 号公報に、浸漬ノズル下端よりも上部に電磁攪拌用磁石を設置し、浸漬ノズル下端よりも下部に移動磁界と静磁界が印加できる磁石を設置し、鋼種や鑄造速度に応じて静磁場と移動磁場を使い分ける鑄造方法が開示されている。

又、特開 2000-271710 号公報に、浸漬ノズル内に Ar ガスを吹き込みながら鋼を鑄造する時に、浸漬ノズルから出た直後の溶鋼流に磁束密度が 0.1 テスラ以上の静磁場を作用させ、その上部で電磁攪拌装置により連続的に攪拌、あるいは、攪拌方向を周期的に変化させる方法が開示されている。

又、特開昭 61-140355 号公報に、鑄型長辺側に鑄型内に供給される溶鋼電流を制御するように配された静磁場を有し、上方に移動磁界発生装置を配して、溶鋼の上表面を水平断面中央から短辺側へ流動させる鑄型及び鑄型上方の構造が開示されている。

又、特開昭 63-119959 号公報に、モールド上部に溶鋼に水平流動を生じさせる電磁攪拌装置を設置し、モールド下部に浸漬ノズルからの吐出流を減速するための電磁ブレーキを設置して、浸漬ノズルから出る吐出流を制御する技術が開示されている。

又、特許第 2856960 号公報に、鑄型内の溶鋼湯面に静磁場を用い、連鑄用ノズルとしてストレートノズルを使用し、吐出口部に進行磁場を用い、その下部に静磁場を用いる鑄型内の溶鋼流動の制御技術が開示されている。

(D) 直流磁界を単独で印加するものとして、特開平 3-258442 号公報に、鑄型長辺側に対向して設置した、長辺とほぼ同じ長さの電磁石により静磁場を作用させる電磁ブレーキが開示されている。

又、特開平 8-19841 号公報に、鑄型幅中央ないし鑄型短辺より内側の所定位置から両端部近傍にかけて、鑄型上方側へ曲げるか傾斜させた磁極を、幅中央部で

浸漬ノズル吐出孔より下部に設置し、直流磁場あるいは低周波交流磁場を作用させることによって鑄型内の溶鋼流動を制御する方法が開示されている。

又、国際公開特許 WO95/26243 号公報に、鑄型全幅にわたって、ほぼ均一な磁束密度分布を有する直流磁場を、鑄型厚み方向に加えて、浸漬ノズルからの吐出流を制御することにより、メニスカス流速を $0.20 \sim 0.40 \text{ m/s}$ に制御する技術が開示されている。

又、特開平 2-284750 号公報に、鑄片幅全体に鑄型厚み方向の均一な静磁界を、浸漬ノズル吐出孔の上部と下部に作用させ、溶鋼吐出流に効果的な制動力を与え、流れを均一化する技術が開示されている。

(E) 直流磁界又は移動磁界を印加するものとして、特開平 9-262650 号公報に、浸漬ノズル吐出孔の下部に設けた複数のコイルに直流電流を流すことにより静磁界を印加したり、交流電流を流すことにより移動磁界を印加したりすることにより溶鋼流動を制御する鑄造方法が開示されている。

又、「材料とプロセス」vol.3(1990)p256 に、浸漬ノズルからの吐出流に交流移動磁場を作用させることにより、吐出溶鋼流を制動（いわゆる EML S）したり、加速（いわゆる EML A）したりする技術が開示されている。

(F) 移動磁界のみを印加するものとして、特開平 8-19840 号公報に、電磁誘導によって鑄型内の溶鋼流動を制御する際に、周波数 $1 \sim 15 \text{ Hz}$ の静止交流磁場を溶鋼に印加する技術が開示されている。

又、「鉄と鋼」66(1980)p797 に、スラブ連続鑄造機において、電磁攪拌により鑄型壁に沿った水平方向の溶鋼旋回流を得る技術（いわゆる M-E M S）が開示されている。

しかしながらこれらの (A) ～ (F) の技術では、モールドパウダーを巻き込んだり、又、凝固界面への介在物の捕捉を防止できず、鑄片の表面品質が充分に

向上しないという問題があった。そこで、ローレンツ力の向きが周期的に反転する磁界（以下、振動磁界という）を印加する技術が検討されている。

（G）振動磁界のみを印加するものとして、特許第 2917223 号公報に、時間的に移動しない低周波交流静止磁界を付与し、凝固直前に低周波電磁振動を励起させることによって、凝固前面の柱状デンドライトを破断させ、熔融金属中に浮遊させて、凝固組織の微細化および中心偏析の低減を目指す方法が開示されているが、鑄片の表面欠陥を低減する効果は小さい。

発明の開示

近年の表面品質向上やコストダウン等の必要性が高まっており、鑄片の表面や内部の更なる品質改善が望まれており、効果的な鑄型内の溶鋼流動の制御が必要となっている。

本発明は、従来の問題点を解決するべくなされたもので、浸漬ノズルから不活性ガスを吹き込むことなく連続鑄造する際に、モールドフラックスの巻き込みを抑制し、鑄片の内部品質を向上させると共に、介在物や気泡の凝固核への捕捉を抑制して、鑄片の表面品質を向上できる、鋼の連続鑄造方法を提供することを目的とする。

その目的を達成するために本発明では、鑄型内の未凝固の溶鋼の流速分布を規制する。すなわち、鑄片の厚み（すなわち鑄型の短辺方向）中央付近では溶鋼流速を小さくしてモールドフラックスの巻き込みを抑えつつ、鑄型の壁面に近い凝固界面近傍では溶鋼流速を大きくすることによって介在物や気泡に洗浄効果を与えて、凝固核への捕捉を抑制する。

本発明では、鑄型へ溶鋼を供給する浸漬ノズルから不活性ガスを吹き込まずに鑄造する際、電磁攪拌を適用して鑄型内の溶鋼温度を均一化させるようにする。

そのために、鑄型の短辺（すなわち鑄片の厚み）方向の溶鋼流速の分布を規定する。即ち、鑄片の厚み中央付近では溶鋼流速を小さくしてモールドフラックスの巻き込みを抑えつつ、鑄型の壁面に近い凝固界面の溶鋼に局所的な流動を与えて、気泡や介在物の捕捉を防止し、鑄片の表面欠陥を低減する。

このための方法として、交流磁場の印加方法を工夫する必要がある、モデル実験及びシミュレーション計算を実施した結果、以下の結論に至った。

特開平 6-190520 号公報に示されるような、鑄片の厚み方向の磁場では、交流電流の表皮効果を利用して、凝固界面あるいは溶鋼の表面にローレンツ力を集中させていたが、これだけでは、効率的に凝固界面のみにローレンツ力を集中できず、凝固界面にローレンツ力を集中させるためには、磁力線分布を制御する必要がある。

そのための方法として、鑄片の幅（すなわち鑄型の長辺）方向に交互に位相が反転する電磁石を配置して、交番させることが効果的である。鑄片の厚み方向に磁界を振動させる場合には、電磁力を鑄型壁面、即ち、凝固界面に集中することができなくなるため、鑄片の幅方向に磁界を振動させる必要がある。ここで、交互の電磁石に通電する電流の位相は実質反転する必要があり、そのためには、位相は 130° 以上異なることが必要である。

一方、コイル構造としては、図 1 に例示する如く、鑄片の幅方向に 3 つ以上の磁極を有する櫛歯状鉄芯 22 に交流電流を流すコイル（以下、交流コイルという）を巻き、且つ、隣り同士の電流の位相を実質反転させることで、幅方向の磁界を振動させることができる。図 1 において、10 は鑄型、12 は浸漬ノズル、14 は溶鋼（斜線部は低速領域）である。その際の交流電流の周波数は、低すぎると十分な流動が励起されず、高すぎると、溶鋼が電磁場に追随しなくなるので、1 Hz から 8 Hz の範囲が適当である。

このような電磁石を用いることで、凝固前面から溶鋼を引き離す方向の流動を誘起させることができ、且つ、励起される溶鋼流速が小さいので、デンドライトを破断することなく、凝固界面の洗浄効果が得られた。図 2（正面図）、図 3（図 2 の III－III 線に沿う水平断面図）、図 4（図 2 の IV－IV 線に沿う垂直断面図）に、磁極 2 8 の数が 4 個の場合について、本発明の振動磁界で誘起される溶鋼流動を、電磁場解析と流動解析によって計算した例をもとにして、模式的に示した。なお図 2 中の III－III 線は、磁極 2 8 の中心を通る。また図 2 中の矢印 a は鑄造方向、b は鑄型の長辺方向、c は溶鋼 1 4 の局所的な流動を示す。図 3 中の矢印 d は鑄型の短辺方向を示す。

本発明では、図 5 に示す如く、次式に示すローレンツ力 F に応じて発生する流れの向きは同じで、流速 V のみ印加電流 I の半分の周期で変動する。

$$F \propto J \times B \quad \dots (1)$$

ここで、 J は誘導電流、 B は磁場である。

交流コイルの巻き方向を逆にすれば、電流の位相が同じでも、磁場の位相を反転することができる。

特許第 2917223 号公報には、時間的に移動しない低周波交流静止磁界を付与し、凝固前面に低周波電磁振動を励起させることによって、凝固前面の柱状デンドライトを破断させ、溶鋼中に浮遊させて、凝固組織の微細化と中心偏析の低減を目指す方法が開示されているが、デンドライトが破断するような大きな電磁力を付与すると、溶湯上面のモールドフラックスを巻き込んで、表面品質を劣化させてしまう。よって、交流振動磁界の磁束密度は 1 0 0 0 ガウス未満が望ましい。なお、コイル配置によっては、1 0 0 0 ガウス以上でもデンドライトが破断しないようにできる場合がある。

更に、特許第 2917223 号公報に開示された方法では、デンドライトの破断が起

こって、柱状晶組織から等軸晶組織に変化してしまう。極低炭素鋼などでは、圧延時に、柱状晶組織のみの方が集合組織として制御し易くなるため、等軸晶化することで、結晶方位を揃え難くなるという問題がある。このため、電磁力によって、凝固前面のデンドライトが破断しないことが重要である。

以上の知見から、鑄型の長辺方向に磁界を振動させることによって、鑄片の厚み方向および鑄造方向の流動を誘起させ、気泡や介在物を凝固界面から引き離すような溶鋼流動を与えることによって、気泡や介在物の捕捉を防止することが効果的であるという結論に至った。

本発明によって、凝固界面のみを効率的に振動させて、気泡や介在物の捕捉を抑制できるので、鑄片の表面品質を大幅に向上させることができる。

更に、鑄片品質の向上を図るべく、モデル実験及びシミュレーション計算を実施した結果、前記振動磁界を鑄型内の溶鋼に作用させると共に、鑄型の短辺（すなわち鑄片の厚み）方向に静磁界を重畳することも有効であるという知見が得られた。

このためのコイル構造としては、図6に例示する如く、図1に例示したものに、更に直流電流を流すコイル34（以下、直流コイルという）を追加したものを挙げることができる。

このように、直流コイル34を設けて、静磁界を重畳させることにより、 $F = J \times B$ （ここに F ：ローレンツ力、 J ：誘導電流、 B ：磁場）の磁場 B 項が大きくなるために、ローレンツ力 F を増加させることができるが、更に、ローレンツ力の向きが、重畳しない場合と大きく異なり、溶鋼流動も変化して、鑄片の幅方向及び鑄造方向の流動が大きくなるので、凝固界面に捕捉される気泡や介在物の洗浄効果が期待できる。

又、重畳することにより、鑄片の厚み中央での溶鋼流速を低減でき、モールド

フラックスの巻き込みも更に有効に防止できる。

図 7 (正面図)、図 8 (図 7 の III-III 線に沿う水平断面図)、図 9 (図 7 の IV-IV 線に沿う垂直断面図) に、磁極 28 の数が 4 個の場合について、本発明の振動磁界で誘起される、ある時点の溶鋼流動を、電磁場解析と流動解析によって計算した例をもとにして、模式的に示す。図 7 中の矢印 a は鑄造方向、b は鑄型の長辺方向、c は溶鋼 14 の局所的な流動を示す。図 8 中の矢印 d は鑄型の短辺方向を示す。又、図 10 (正面図)、図 11 (図 10 の VI-VI 線に沿う水平断面図)、図 12 (図 10 の VII-VII 線に沿う垂直断面図) に、次の時点の溶鋼流動を模式的に示す。

本発明では、図 13 に示す如く、次式に示すローレンツ力 F に応じて発生する流れの向きが、印加電流 I と同じ周期で反転する。

$$F \propto J \times B_t \quad \dots (2)$$

$$B_t = B_{dc} + B_{ac} > 0 \quad \dots (3)$$

ここで、 J は誘導電流、 B_t は合計磁場、 B_{dc} は直流磁場、 B_{ac} は交流磁場である。

この場合も、磁界を振動させるための交流電流の周波数は、前記したと同様に 1 Hz から 8 Hz の範囲が適当である。

以上の知見から、鑄型の長辺方向に磁界を振動させつつ、鑄片の厚み方向に直流磁界を印加することにより、鑄型の長辺方向及び鑄造方向に従来と大きく異なる溶鋼流動を誘起させ、凝固界面のみを効率的に振動させて、気泡や介在物の捕捉を抑制し、鑄片の表面品質を大幅に向上させることができる。

更に、交流磁場の印加態様を工夫するべく、モデル実験及びシミュレーション計算を実施した結果、以下の結論が得られた。

移動磁界によるマクロ流動は、凝固界面の気泡や介在物の捕捉を抑制するが、

時として、モールドフラックスの巻き込みを増加させるため、かえって品質を劣化させる場合がある。

振動磁界を印加する際に、振動磁界を強く受ける位置が固定されると、電磁力の弱い位置で、介在物の捕捉を十分に抑制できない部分が生じる場合がある。このため、振動磁界によるローレンツ力のピーク位置を移動させることが効果的である。

ローレンツ力のピーク位置を移動させるには、隣り合う3つの電磁石に装着される交流コイル、あるいは、交流コイル群の位相を、真中の交流コイルの位相を最後とするように設定するとよい。ここで、振動磁界とは、時間と共にローレンツ力の向きが反転する磁場をいう。

次に、ローレンツ力のピーク位置の移動について説明する。図6と構造が実質的に同一の図14に示すような、櫛歯状のコイル24の各コイル（後述する図20に示す）に振動磁界を与え、各コイル毎に位相を変化させる。図15～図18は、このような各コイル毎に付与する位相の説明図である。図中の交流コイル24a, 24bの各コイルの横に付してある数字は、ある時刻におけるその交流コイルの電流の位相角（度）を記入したものである。図15～図17は2相交流、図18は3相交流の場合で、図15は移動磁界、図16は振動磁界、図17と図18は振動磁界のピーク位置を局所的に移動させた場合の例を示した。

図17, 図18に示すように、鑄型の長辺（すなわち鑄片の幅）方向に3個以上の電磁石を並べ、隣り合う電磁石に通電する電流の位相が、一方向に増加、あるいは、減少することなく、少なくとも真中の位相が両側の位相よりも遅れるように設定することによって、磁界は単に一方向に移動するのではなく、振動しながら局所的に移動することになる。

以上のように、3個以上の電磁石のうち隣り合う電磁石に装着される交流コイ

ルの位相が、 n ， $2n$ ， n あるいは n ， $3n$ ， $2n$ （但し、 n は2相交流で 90° ，3相交流で 60° 又は 120° ）の配列部分をもたせることによって、振動磁界のピーク位置を局所的に移動させることができる。

ここで、単純に振動磁界を誘起させた場合には、振動磁界の振幅が大きいところと小さいところができる。このピーク位置を局所的に移動させることによって、全ての位置で、凝固界面を洗浄することが可能となる。

なお、ここで、交流コイルの櫛歯数が12本の例を示したが、櫛歯数は4，6，8，10，12，16本などから選ぶことができ、又、交流は2相，3相のいずれでもよい。

そこで本発明では、鑄型の長辺方向に沿って3個以上の電磁石を並べ、振動磁界を発生させながら、その振動磁界のピーク位置を鑄型の長辺方向に沿って移動させることによって、前記した課題を解決する。

なお本発明においては、3個以上の電磁石のうち隣り合う電磁石に装着されたコイルの位相が、 n ， $2n$ ， n あるいは n ， $3n$ ， $2n$ の配列部分をもつことが好ましい。ただし、3相交流で $n = 60^\circ$ 又は 120° ，2相交流で $n = 90^\circ$ である。また振動磁界に加えて、直流磁界を鑄片の厚み方向に重畳することが好ましい。

さらに鑄型内の未凝固の溶鋼の介在物を低融点化することによって、溶鋼を鑄型へ供給するノズルの閉塞を防止して、ノズルから不活性ガスを吹き込むことなく連続鑄造することが好ましい。その場合、介在物を低融点化した溶鋼が、 $C \leq 0.020$ 質量%， $Si \leq 0.2$ 質量%， $Mn \leq 1.0$ 質量%， $S \leq 0.050$ 質量%， $Ti \geq 0.010$ 質量%を含み、 $Al \leq [質量\% Ti] / 5$ の条件を満足する組成からなる極低炭素Ti脱酸鋼であることが好ましい。ここで[質量% Ti]は、Tiの含有量（質量%）を指す。

また本発明を適用する溶鋼は、溶鋼をまず真空脱ガス装置による脱炭処理した後、Ti含有合金によって脱酸し、その後、脱酸溶鋼中に $Ca \geq 10$ 質量%及び $REM \geq 5$ 質量%の1種又は2種とFe, Al, Si及びTiのうちから選ばれる1種又は2種以上を含有する介在物組成調整用合金を添加することにより、溶鋼中の酸化物組成を CaO および REM 酸化物のうちの少なくとも1種の含有量が10質量%以上50質量%以下で、かつTi酸化物が90質量%以下、 Al_2O_3 が70質量%以下であることが好ましい。

その溶鋼は、脱炭処理した後、Ti含有合金による脱酸処理に先立って、Al, Si, Mnのいずれかにて予備脱酸することにより、溶鋼中の溶存酸素濃度を予め200ppm以下にすることが好ましい。

さらに本発明では、振動磁界によって駆動されるローレンツ力の最大値を5000 (N/m^3) 以上、13000 (N/m^3) 以下にすることが好ましい。また、連続铸造用鑄型内の未凝固の溶鋼の流速を V (m/s) とし、振動磁界によって駆動されるローレンツ力の最大値を F_{max} (N/m^3) とするとき、 $V \times F_{max}$ が3000 ($N/(s \cdot m^2)$) 以上になるように調整することが好ましい。

図面の簡単な説明

図1は、本発明で用いられる電磁石と鑄型の組合せの一例を模式的に示す水平断面図である。

図2は、本発明の原理を説明するための、磁場で誘起される溶鋼流動の速度ベクトルの電磁場解析と流動解析による計算結果を模式的に示す正面図である。

図3は、図2のIII-III線に沿う水平断面図である。

図4は、図2のIV-IV線に沿う垂直断面図である。

図5は、本発明における印加電流と溶鋼流速の時間的な変化状態の例を示す線

図である。

図 6 は、本発明で用いられる電磁石と鑄型の組合せの他の一例を模式的に示す水平断面図である。

図 7 は、本発明の原理を説明するための、磁場で誘起される、ある時点の溶鋼流動の速度ベクトルの電磁場解析と流動解析による計算結果を模式的に示す正面図である。

図 8 は、図 7 の III－III 線に沿う水平断面図である。

図 9 は、図 7 の IV－IV 線に沿う垂直断面図である。

図 10 は、本発明の原理を説明するための、磁場で誘起される、磁極が反転した次の時点の溶鋼流動の速度ベクトルの電磁場解析と流動解析による計算結果を模式的に示す正面図である。

図 11 は、図 10 の VI－VI 線に沿う水平断面図である。

図 12 は、図 10 の VII－VII 線に沿う垂直断面図である。

図 13 は、本発明における印加電流と溶鋼流速の時間的な変化状態を示す線図である。

図 14 は、本発明による交流コイル、直流コイルと鑄型との関係を示した平面模式図である。

図 15 は、移動磁界の場合の交流コイルの位相を示した模式図である。

図 16 は、振動磁界の場合の交流コイルの位相を示した模式図である。

図 17 は、振動磁界のピーク位置を局所的に移動させる場合の交流コイルの位相を示した模式図である。

図 18 は、振動磁界のピーク位置を局所的に移動させる場合の交流コイルの位相を示した他の模式図である。

図 19 は、第 1 実施形態の連続鑄造設備を模式的に示す水平断面図である。

図 2 0 は、第 2 実施形態の連続鋳造設備を模式的に示す水平断面図である。

図 2 1 は、本発明による効果を示すグラフである。

図 2 2 は、本発明による静磁界を重畳した場合の効果を示すグラフである。

図 2 3 は、移動磁界を発生させる電流の位相の経時変化を示す説明図である。

図 2 4 は、移動磁界のピーク位置を局所的に移動させる電流の位相の経時変化を示す説明図である。

図 2 5 は、移動磁界のピーク位置を局所的に移動させる電流の位相の経時変化を示す他の説明図である。

図 2 6 は、ローレンツ力の最大値 F_{\max} と欠陥混入率との関係を示すグラフである。

図 2 7 は、ローレンツ力の最大値 F_{\max} とブローホール個数密度との関係を示すグラフである。

図 2 8 は、ローレンツ力の最大値 F_{\max} とノロカミ個数密度との関係を示すグラフである。

図 2 9 は、凝固界面に作用するローレンツ力を模式的に示す斜視図である。

図 3 0 は、ローレンツ密度の分布を示すグラフである。

図 3 1 は、ローレンツ力の平均値 F_{ave} と欠陥混入率との関係を示すグラフである。

図 3 2 は、ローレンツ力の平均値 F_{ave} とブローホール個数密度との関係を示すグラフである。

図 3 3 は、ローレンツ力の平均値 F_{ave} とノロカミ個数密度との関係を示すグラフである。

図 3 4 は、溶鋼流速 V と欠陥混入率との関係を示すグラフである。

図 3 5 は、 $V \times F_{\max}$ と欠陥混入率との関係を示すグラフである。

<符号の説明>

- 1 0 鋳型
- 1 2 浸漬ノズル
- 1 4 溶鋼
- 2 0 振動磁界発生装置
- 2 2 櫛歯状鉄芯
- 2 4 交流コイル
- 2 6 a, 2 6 b 交流電源
- 2 8 磁極
- 3 0 静磁界発生装置
- 3 2 直流電源
- 3 4 直流コイル

発明を実施するための最良の形態

本発明について、図面を参照して説明する。本発明では、図 1 に示すように、浸漬ノズル 1 2 が上方のタンディッシュ（図示せず）の底部から吊り下げられて鋳型 1 0 内の未凝固の溶鋼 1 4 に浸漬され、溶鋼 1 4 を供給する。鋳型 1 0 の長辺の外側に 3 個以上の電磁石（交流コイル）を並べた振動磁界発生装置が配設される。これらの電磁石（交流コイル）には、それぞれ振動磁界を発生する振動電流が印加され、その振動電流のピーク値は、鋳型 1 0 の長辺方向に沿って移動するように印加される。この移動は、隣り合う交流コイルの位相が n , $2n$, n 又は n , $3n$, $2n$ の配列部分を持つように印加される。

まず、このような装置を用いて振動磁界のみを作用させる本発明の第 1 実施形態を詳細に説明する。

第1実施形態においては、溶鋼の介在物を低融点化することにより、溶鋼を鋳型へ供給するノズルの閉塞を防止して、ノズルからAr等の不活性ガスを吹き込むことなく連続鋳造を行ないながら、鋳型内の未凝固の溶鋼に振動磁界を作用させる。

このようなガスレス連続鋳造に使用する介在物を低融点化した溶鋼としては、前記した特開平11-100611号公報に開示されている、 $C \leq 0.020$ 質量%、 $Si \leq 0.2$ 質量%、 $Mn \leq 1.0$ 質量%、 $S \leq 0.050$ 質量%、 $Ti \geq 0.010$ 質量%を含み、 $Al \leq [質量\% Ti] / 5$ の条件を満足する組成からなる極低炭素Ti脱酸鋼を挙げることができる。この溶鋼は、製造するに当り、溶鋼をまず真空脱ガス装置による脱炭処理した後、Ti含有合金によって脱酸し、その後、脱酸溶鋼中に $Ca \geq 1.0$ 質量%及びREM ≥ 5 質量%の1種又は2種とFe, Al, Si及びTiのうちから選ばれる1種又は2種以上を含有する介在物組成調整用合金を添加することにより、溶鋼中の酸化物組成をCaOおよびREM(希土類元素)酸化物のうちの少なくとも1種の含有量が10質量%以上50質量%以下で、かつTi酸化物が90質量%以下、 Al_2O_3 が70質量%以下にする。その際、脱炭処理の溶鋼を、Ti含有合金による脱酸処理に先立って、Al, Si, Mnのいずれかにて予備脱酸することにより、溶鋼中の溶存酸素濃度を予め200ppm以下にすることが望ましい。

このように製造した溶鋼をガスレス連続鋳造する際に、以下のように鋳型内の溶鋼を電磁攪拌することによって、鋳片の表面欠陥を低減する。

本発明の実施に好適な、連続鋳造設備の一例を、水平断面の模式図で図19に示す。図19において、10が鋳型、12が浸漬ノズル、14が溶鋼、20が振動磁界発生装置、22が櫛歯状鉄芯、24が交流コイル、26aと26bが交流電源、28が磁極である。

本発明では、相対する長辺と短辺からなる鋳型 10 内の溶鋼 14 に、磁界を印加しながら連続鋳造する。印加する磁界は、鋳型 10 の長辺方向に振動する磁界（すなわち振動磁界）とする。印加する振動磁界は、鋳型 10 の長辺方向を印加方向とする交流磁界で、その向きを周期的に反転させ、溶鋼 14 のマクロ的流動を誘起することのない磁界である。

振動磁界は、例えば、図 19 に示すような振動磁界発生装置 20 を使用して、発生させることができる。図 19 に示す振動磁界発生装置 20 では、鋳型 10 の長辺方向に 3 個以上（図 19 中では 12 個）の櫛歯を有する櫛歯状鉄芯 22 を用いて、これら櫛歯に交流コイル 24 を配設して磁極 28 とする。磁極 28 は、隣接する磁極 28 同士が互いに異なる極性（N、S 極）を有するように、交流コイルの巻き方及び交流コイルに流す交流電流を調整する。隣接する磁極 28 同士が互いに異なる極性（N、S 極）とするためには、隣接する磁極 28 同士の交流コイルの巻き方を反対方向とし交流コイルに流す電流を同位相で所定の周波数を有する交流電流とするか、あるいは隣接する磁極 28 同士のコイルの巻き方を同方向としコイルに流す電流を隣接する磁極 28 同士で位相がずれた、所定の周波数を有する交流電流とするのが好ましい。隣接する磁極 28 の交流コイルに流す交流の位相のずれは、実質的に位相が反転する、 130° 以上 230° 以下とするのが好ましい。

なお、交流電流の所定の周波数としては、 $1 \sim 8 \text{ Hz}$ とするのが好ましく、より好ましくは $3 \sim 6 \text{ Hz}$ である。図 19 に示す例は、隣接する磁極 28 で、交流コイルの巻き方を同方向として交流コイルに流す交流電流を位相が異なる（実質的に位相が反転する）ものとする場合であるが、本発明はこれに限定されるものではない。

本発明では、隣接する磁極 28 同士が互いに異なる極性を有するため、隣接す

る磁極 28 間で溶鋼に作用する電磁力とその隣りの磁極 28 間で溶鋼 14 に作用する電磁力とは、その向きがほぼ反対となり、溶鋼 14 のマクロな流動が誘起されることはない。又、本発明では、交流コイルに流す電流を交流電流とするため、各磁極 28 の極性が所定の周期で反転し、鑄型 10 の長辺方向で凝固界面近傍の溶鋼 14 に振動を誘起させることができる。これにより、凝固界面への介在物や気泡の捕捉を抑制することができ、鑄片の表面品質を顕著に向上させることができる。

交流コイルに流す交流電流の周波数が 1 Hz 未満では、低すぎて十分な溶鋼流動が誘起されない。一方、8 Hz を超えると、溶鋼 14 が振動磁界に追従しなくなり、磁界印加の効果が少なくなる。このため、交流コイルに流す交流電流の周波数を 1 ～ 8 Hz とし、振動磁界の振動周期を $1/8 \sim 1$ s とするのが好ましい。

なお、本発明では、印加する振動磁界の磁束密度は 1000 ガウス未満とするのが好ましい。磁束密度が 1000 ガウス以上になると、デンドライトを破断するだけでなく、湯面変動が大きくなり、モールドフラックスの巻き込みを助長するという問題がある。

又、本発明では、上記した振動磁界の印加に加えて、静磁界を印加する。静磁界は、図 20 に示すように、鑄型 10 の長辺側に静磁界発生装置 30 を設置し、鑄型 10 の短辺方向（鑄片の厚み方向）の向きに印加する。

鑄型 10 の厚さ方向に静磁界を印加することにより、鑄型 10 中央部付近の溶鋼流速を減少させることができ、モールドフラックスの巻き込みを防止できる。なお、振動磁界の印加に静磁界の印加を重畳させることにより、 $F = J \times B$ における B 項を大きくできるため、更にローレンツ力を増加させることができるという効果もある。

又、本発明では、印加する静磁界の磁束密度は 200 ガウス以上 3000 ガウ

ス以下とするのが好ましい。磁束密度が200 Gauss未満では溶鋼流速の低減効果が少なく、また3000 Gaussを超えると制動が大きすぎて不均一凝固を引き起こすという問題がある。

図20は、鋳型10の長辺側に、振動磁界発生装置20と、静磁界発生装置30とを配設した例を示す。静磁界発生装置30は、鋳型10の長辺側に鋳型10を挟んで一対の磁極28を配し、流す電流を直流電流として直流電源32から直流コイル34に流し、鋳型10の短辺（すなわち鋳片の厚み）方向に静磁界を印加する。静磁界発生装置30と振動磁界発生装置20の設置位置は、垂直方向で同じ位置としても、又、異ならせてもいずれでもよい。

次に、移動磁界の場合と、振動磁界のピーク位置を鋳型10の長辺方向に沿って局所的に移動させる場合を詳細に説明する。

図14は鋳型10の平面図及び交流電磁石（交流コイル24）、直流電磁石（直流コイル34）の配列例を示したものである。

鋳型10には、上方のタンディッシュ（図示せず）の底部に連結されている浸漬ノズル12が浸漬され、溶鋼14を供給する。鋳型10の長辺に沿って、図20と同様に、12枚の櫛歯状の交流電磁石（交流コイル24）が配設され、その外側に直流コイル34が配設されている。12個の交流コイル24にはそれぞれ振動磁界を発生する振動電流が供給され、その振動電流のピーク値は、鋳型10の長辺方向に沿って移動するように印加される。このピーク値の移動は、隣り合う交流コイルの位相が n 、 $2n$ 、 n 又は n 、 $3n$ 、 $2n$ の配列部分をもつように印加することにより実現される。

図15～図18は、ある瞬間における交流コイル24a、24bをそれぞれ構成する12個の各コイルにおける振動磁界の位相の分布を数字（位相角の値）で記載して示したものである。振動磁界のピーク位置は鋳型10の長辺に沿う方向

に順次移動する。

図 1 5 には隣接する交流コイルの位相差が 90° で、対向する交流コイル 2 4 a, 2 4 b で 180° 異なる 2 相交流の移動磁界が示されている。図 1 6 には隣接する交流コイルの位相差が 180° で、対向する交流コイル 2 4 a, 2 4 b で同位相の 2 相交流の振動磁界が印加されている。図 1 7 には隣接する交流コイルの位相差が 90° で、対向する交流コイル 2 4 a, 2 4 b で 180° 異なる半波整流 2 相交流が印加されている。図 1 8 には隣接する交流コイルとの位相差が 120° , 対向する交流コイルで 60° 異なる半波整流 3 相交流が印加されている。

ここで、図 2 3 には、図 1 5 の移動磁界について、電流の位相角の経時的な変化を交流コイル 2 4 a の各コイルに対応させて示す。最上段 T1 の位相角は図 1 5 と同じであり、下方に向かって時間が経過している。又、図 2 4, 図 2 5 には、それぞれ図 1 7, 図 1 8 の振動磁界のピーク位置の局所移動について同様の経時変化を示す。

以上のようにして振動磁界のピーク位置を局所的に移動させることによって、凝固界面のみを効率的に振動させて、気泡や介在物の捕捉を抑制できるので、鋳片の表面品質を大幅に向上させることができる。

次に、更に図面を参照して、振動磁界に静磁界を重畳する本発明の第 2 実施形態を詳細に説明する。

本発明の実施に好適な、連続鋳造設備の一例を、水平断面の模式図で図 2 0 に示す。この図は、図 1 9 に、3 0 の静磁界発生装置を併設したものに相当する。

本発明では、相対する長辺と短辺からなる鋳型 1 0 内の溶鋼に、磁界を印加しながら連続鋳造する。印加する磁界は、鋳型 1 0 の長辺方向に振動する磁界（すなわち振動磁界）と厚み方向の静磁界とする。印加する振動磁界は、鋳型 1 0 の長辺方向を印加方向とする交流磁界で、その向きを周期的に反転させ、溶鋼 1 4

のマクロ的流動を誘起することのない磁界である。

振動磁界は、例えば、図 20 に示すような振動磁界発生装置 20 を使用して、発生させることができる。図 20 に示す振動磁界発生装置 20 は、第 1 実施形態の図 19 に示したものと実質的に同一であるので、詳細な説明は省略する。

又、本発明では、上記した第 1 実施形態と同様の振動磁界の印加に加えて、静磁界を印加する。静磁界は、図 20 に示すように、鋳型 10 の長辺側に静磁界発生装置 30 を設置し、鋳型 10 の短辺方向（鋳片の厚み方向）の向きに印加する。

鋳型 10 の短辺方向に静磁界を印加することにより、鋳型 10 の中央部付近の溶鋼流速を減少させることができ、モールドフラックスの巻き込みを防止できる。なお、振動磁界の印加に静磁界の印加を重畳させることにより、 $F = J \times B$ における B 項を大きくできるため、更にローレンツ力を増加させることができるという効果もある。

又、本発明では、印加する静磁界の磁束密度は 200 ガウス以上 3000 ガウス以下とするのが好ましい。磁束密度が 200 ガウス未満では溶鋼流速の低減効果が少なく、また 3000 ガウスを超えると制動が大きすぎて不均一凝固を引き起こすという問題がある。

図 20 は、鋳型 10 の長辺側に、振動磁界発生装置 20 と、静磁界発生装置 30 とを配設した例を示す。静磁界発生装置 30 は、鋳型 10 の長辺側に鋳型 10 を挟んで一対の磁極 28 を配し、流す電流を直流電流として直流電源 32 から直流コイル 34 に流し、鋳型 10 の厚さ方向に静磁界を印加する。静磁界発生装置 30 と振動磁界発生装置 20 の設置位置は、垂直方向で同じ位置としても、又、異ならせても、いずれでもよい。

次に、更に図面を参照して、振動磁界のピーク位置を鋳型 10 の長辺方向に沿って局所的に移動させる本発明の第 3 実施形態を詳細に説明する。

図14は鑄型10の平面図及び交流電磁石（交流コイル24）、直流電磁石（直流コイル34）の配列例を示したものである。

鑄型10には、上方のタンディッシュ（図示せず）の底部に連結されている浸漬ノズル12が浸漬され、溶鋼14を供給する。鑄型10の長辺に沿って、図20と同様に、12枚の櫛歯状の交流電磁石（交流コイル24）が配設され、その外側に直流コイル34が配設されている。12個の交流コイル24にはそれぞれ振動磁界を発生する振動電流が供給され、その振動電流のピーク値は、鑄型10の長辺方向に沿って移動するように印加される。このピーク値の移動は、隣り合う交流コイルの位相が n 、 $2n$ 、 n 又は n 、 $3n$ 、 $2n$ の配列部分をもつように印加することにより実現される。

図15～図18は、ある瞬間における交流コイル24a、24bをそれぞれ構成する12個の各コイルにおける振動磁界の位相の分布を数字（位相角の値）で記載して示したものである。振動磁界のピーク位置は鑄型10の長辺に沿う方向に順次移動する。

図15には隣接する交流コイルの位相差が 90° で、対向する交流コイル24a、24bで 180° 異なる2相交流の移動磁界が示されている。図16には隣接する交流コイルの位相差が 180° で、対向する交流コイル24a、24bで同位相の2相交流の振動磁界が印加されている。図17には隣接する交流コイルの位相差が 90° で、対向する交流コイル24a、24bで 180° 異なる半波整流2相交流が印加されている。図18には隣接する交流コイルとの位相差が 120° 、対向する交流コイルで 60° 異なる半波整流3相交流が印加されている。

振動磁界のピーク位置を局所的に移動させる本発明の方法によって、第1実施形態の場合と同様の溶鋼をガスレス連続鑄造することにより、凝固界面のみを効率的に振動させて、介在物の捕捉を抑制できるので、鑄片の表面品質を大幅に向

上させることができる。

次に、ローレンツ力と溶鋼流速の相互作用を好適範囲に維持する本発明の第4実施形態を詳細に説明する。

第4実施形態においては、鑄型10内の溶鋼流速を V (m/s) とし、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を F_{\max} (N/m³) として、 $V \times F_{\max}$ が3000 (N/(s・m²)) 以上、6000 (N/S・m²) 以下になるようにする。

なお、溶鋼流速 V は実測値であるが、測定が困難な場合には発明者が実験によって得た回帰式

$$V \text{ (m/sec)} = (43.0 - 0.047 L_{\text{SEN}} + 0.093\theta + 10.0Q + 0.791 q_{\text{Ar}} - 0.0398W) / 100$$

で代用してもよい。但し、 L_{SEN} : ノズル浸漬深さ (mm), Q : 溶鋼注入速度 (t/min), θ : 浸漬ノズル溶鋼吐出角度 (°), q_{Ar} : ノズル吹き込みガス流量 (l/min), W : 鑄型幅 (mm) である。

第1実施形態と同様に連続鑄造した結果に基づいて、欠陥混入率と磁界による溶鋼の流速の関係を図34に示す。又、欠陥混入率とローレンツ力の最大値 F_{\max} との関係は、図26に示してある。又、これらの結果を、更に詳細に検討した結果、図35に示すように、溶鋼流速 V と F_{\max} に関して、 $V \times F_{\max}$ が3000以上であるようにすることが、欠陥混入率を低減する上で有効であることが明らかになった。又、6000を超えても効果が変わらないことも分った。

なお、ここでは、極数が12極の櫛歯状の鉄芯について説明したが、磁極数や鉄芯の形状はこれに限定されず、例えば鉄芯が分割されていてもかまわない。又、静磁界を重畳する場合に限定されず、例えば図20から直流コイル34を除いた設備を使用するようにしてもよい。

〈実施例〉

〈第 1 実施例〉

先ず、溶鋼 14 の代表例を説明する。転炉から出鋼した後、300 トンの溶鋼 14 を RH 真空脱ガス装置にて脱炭処理し、溶鋼 14 の成分組成を、 $C = 0.0035$ 質量％、 $Si = 0.02$ 質量％、 $Mn = 0.20$ 質量％、 $P = 0.015$ 質量％、 $S = 0.010$ 質量％、温度を 1600°C に調整した。この溶鋼 14 中に、 Al を 0.5 kg/ton 添加し、溶鋼 14 中の溶存酸素濃度を 150 ppm まで低下させた。この時の溶鋼 14 中の Al 濃度は 0.003 質量％であった。そしてこの溶鋼 14 に、 70 質量％ $Ti-Fe$ 合金を 1.2 kg/ton 添加し脱酸した。その後、溶鋼 14 中に 20 質量％ $Ca-10$ 質量％ $REM-50$ 質量％ $Ti-Fe$ 合金を 0.5 kg/ton 添加し、成分調整を行なった。この処理後の Ti 濃度は、 0.050 質量％、 Al 濃度は 0.003 質量％であった。

次いで、図 19 に示した連続鑄造設備にて鑄造実験を行なった。このときのタンディッシュ（図示せず）内の介在物を調査した結果、 65 質量％ Ti_2O_3-15 質量％ $CaO-10$ 質量％ Ca_2O_3-10 質量％ Al_2O_3 の球状介在物であった。鑄造後、イメージジョンノズル内には付着物はほとんどなかった。

なお、スラブの幅は $1500 \sim 1700\text{ mm}$ 、厚みは 220 mm 、溶鋼 14 のスループット量は $4 \sim 5\text{ ton/分}$ の範囲とした。

又、コイル構造として、図 1 に示した如く、幅方向に 12 等分した櫛歯状の鉄芯を用い、鑄片の幅方向に交互に位相が反転する磁場（すなわち振動磁界）を発生するように配置した。

図 21 に、極低炭素鋼についての実験条件及び実験結果（欠陥混入率）をまとめて示す。この図で欠陥混入率は、介在物、モールドフラックス巻き込み、ブローホールおよび表面欠陥起因の欠陥をいう。

なお、鋳片の表面偏析は、スラブを研削した後、エッチングを行い、目視観察によって1 m² 当たりの偏析個数を調査した。又、冷間圧延後の冷延コイルの表面欠陥を目視検査し、欠陥サンプルを採取後、欠陥部を分析することによって、モールドフラックスによる欠陥個数を調査した。介在物量は、鋳片の1/4厚みの位置からスライム抽出法によって介在物を抽出後、重量を測定した。表面偏析、モールドフラックス欠陥及び介在物量とも、指数化に際しては、全条件のうち、もっとも悪かったものを10とし、それに対する線形な比で表示した。

図21からわかるように、交流磁束密度によって、表面偏析、モールドフラックス巻込による欠陥、ブローホール、非金属介在物低減が可能となる。

ここで、振動磁界の強度が強すぎると、溶鋼表面のフラックスの巻き込みが大きくなって、表面品質を悪化させ、周波数が高すぎると、磁界に溶鋼が追従できなくなって、凝固界面の洗浄効果が低下し、ブローホールや介在物欠陥が増加しているものと推定される。

なお、ここでは、極数が12極の櫛歯状の鉄芯について説明したが、磁極数や鉄芯の形状はこれに限定されず、例えば鉄芯が分割されていてもかまわない。

〈第2実施例〉

転炉で溶製した第1実施例と同様の溶鋼14を使用し、図20の連続鑄造設備でスラブを鑄造した。その際、同様に、スラブの幅は1500～1700 mm、厚みは220 mm、溶鋼14のスループット量は4～5トン/分の範囲とした。

又、コイル構造として、図6に示した如く、幅方向に12等分した櫛歯状の鉄芯を用い、鋳片の幅方向に交互に位相が反転する磁場（すなわち振動磁界）を発生するように配置した。

図22に、極低炭素鋼について、直流磁界1200 Gauss一定の下で行なった場合の実験条件及び実験結果をまとめて示す。図22に記載されている実験結果

の解析方法は、第1実施例と同様である。

図22からわかるように、振動磁界印加に静磁界重畳によって、表面偏析、モールドフラックス巻込による欠陥、ブローホール、非金属介在物低減が可能となる。

この場合も、振動磁界の強度が強すぎると、溶鋼表面のフラックスの巻き込みが大きくなって、表面品質を悪化させ、周波数が高すぎると、磁界に溶鋼が追随できなくなって、凝固界面の洗浄効果が低下し、ブローホール、介在物欠陥が増加しているものと推定される。

〈第3実施例〉

コイル構造として、図14に示すような、鋳片の幅方向に12等分した櫛歯状の鉄芯を用い、鋳片の幅方向に交互に位相が反転する磁場（すなわち振動磁界）を発生するように配置した。交流磁界による磁束は最大1000ガウスとした。

表1に、実験条件及び実験結果をまとめて示した。実験結果の解析方法は、第1実施例と同様である。なお表1中のコイル位相パターンの符号は次の通りである。

A : n , $2n$, n (実施例)

B : n , $3n$, $2n$ (実施例)

C : 0 , n , $2n$, $3n$ (比較例)

D : 0 , $2n$, 0 , $2n$ (比較例)

但し、 n は位相角で、2相交流では $n = 90^\circ$ 、3相交流では $n = 60^\circ$ 又は 120° である。

表1から分かるように、振動磁界を印加することによって、表面偏析、モールドフラックス巻込による欠陥、ブローホール、非金属介在物低減が可能となる。

第1実施例と同様に、振動磁界の強度が強すぎると、溶鋼表面のフラックスの

巻き込みが大きくなって、表面品質を悪化させ、周波数が高すぎると、磁界に溶鋼が追従できなくなって、凝固界面の洗浄効果が低下し、気泡や介在物欠陥が増加している。

表 1

	コイル 位相 パターン	電源相数	交流磁界 (Gauss)	直流磁界 (Gauss)	モールドフラ ックスによる 欠陥指数 (－)	鑄片の気泡、 介在物指数 (－)	総合評価
比較例 1	なし	—	0	0	5.2	10	×
比較例 2	C	3	1000	0	2.0	1.2	△
比較例 3	D	2	1000	0	2.5	1.8	△
比較例 4	C	3	2000	0	10	1.2	×
比較例 5	D	2	1000	1000	0.8	1.0	○
実施例 1	A	2	1000	0	0.1	0.3	◎
実施例 2	A	3	1000	500	0.1	0.2	◎
実施例 3	A	3	2000	1000	0.05	0.05	◎
実施例 4	B	2	500	0	0.1	0.3	◎
実施例 5	B	2	800	1000	0.1	0.1	◎
実施例 6	B	3	1000	0	0.2	0.3	◎
実施例 7	A	2	1000	1000	0.1	0.1	◎
実施例 8	B	3	1000	1000	0.05	0.05	◎

〈第 4 実施例〉

約 300 トンの溶鋼 14 を転炉で溶製し、RH 処理によって極低炭素鋼の A1 キルド鋼とし、連続鑄造設備でスラブを鑄造した。代表的な溶鋼成分を表 2 に示す。なお、スラブの幅は 1500～1700 mm、厚みは 220 mm、溶鋼 14 のスループット量は 4～5 トン／分の範囲とした。

又、コイル構造として、図 6、図 14 等にした如く、鑄片の幅方向に 12 等分した櫛歯状の鉄芯を用い、鑄片の幅方向に位相が周期的に変化する磁場（すな

わち振動磁界) を発生するように配置した。

表 2

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
0.0015	0.02	0.08	0.015	0.004	0.04	0.04

こうして連続鋳造を行ない、得られたスラブの欠陥混入率、ブローホール、ノロカミの検査結果を図 2 6, 図 2 7, 図 2 8 に示す。

ここで、図中の欠陥混入率は、冷間圧延後の冷延コイル全長を分母とし、気泡、介在物起因の表面欠陥 1 つを 1 m とみなして分子とし、その比率を % で表わす値である。また、ブローホールおよびノロカミは、鋳造および切断の後の鋳片の表面を約 2 mm 溶削した後鋳片表面に現れた穴を、内部が空洞の場合にブローホール、モールドフラックスが充鎮されていた痕跡がある場合にノロカミとしてそれぞれ計数し、調査した鋳片の表面積でその数値を除した値である。

図 2 6 ～図 2 8 は、いずれも横軸が凝固界面に働くローレンツ力の最大値 F_{\max} である。

図 2 9 に交流コイル 2 4 と、モールド鋼板で示す鋳型 1 0 の内壁に付着した溶鋼の凝固界面との関係を模式的に示すように、交流コイル 2 4 に流れる電流が変化すると、凝固界面の溶鋼 1 4 にローレンツ力 F が作用する。

このローレンツ力 F は、図 6, 図 1 9 に示したような振動磁界に直流磁界を重畳する場合であると、前記した (2), (3) 式で与えられ、 B_{dc} は時間平均した力には影響しないが、時間変動する力は B が大きくなる分だけ大きくなる。このローレンツ力 F の変化を、電流変化を位相で表わして、横軸が鋳型 1 0 の長辺に相当する図 3 0 に示すように、各コイル毎に周期的に変動する。

振動磁界の場合、ローレンツ力の最大値（ピーク） F_{\max} (N/m^3) と、その時間平均値 F_{ave} (N/m^3) は、数値計算の結果を回帰して得られた次式で与えられる。

（振動）

$$F_{\max} = 1.57 \times 10^6 B_{ac} \cdot B_{dc} + 1.20 \times 10^6 B_{ac}^2$$

$$F_{\text{ave}} = 0$$

図 1 5 の移動磁界、図 1 7 又は図 1 8 の振動移動（振動磁界のピーク位置の局所的な移動）の場合も、同様に下式で与えられる。

（移動）

$$F_{\max} = 2.28 \times 10^6 B_{ac} \cdot B_{dc} + 4.17 \times 10^6 B_{ac}^2$$

$$F_{\text{ave}} = 1.76 \times 10^6 B_{ac}^2$$

（振動移動）

$$F_{\max} = 1.86 \times 10^6 B_{ac} \cdot B_{dc} + 2.31 \times 10^6 B_{ac}^2$$

$$F_{\text{ave}} = 6.36 \times 10^6 B_{ac}^2$$

図 2 6～図 2 8 の各データは、実際に連続鋳造した際に上記の各式により計算されたローレンツ力の最大値 F_{\max} と各検査結果とを対応させて示したものである。

図 2 6 から、欠陥混入率は、 F_{\max} が 5 0 0 0 (N/m^3) 以上、1 3 0 0 0 (N/m^3) 以下が有効であることが分かる。図 2 7, 図 2 8 でも、 F_{\max} が 5 0 0 0 (N/m^3) 以上が有効であることが分かる。

なお、参考のために、図 3 1～図 3 3 に F_{ave} と関係を示したように、この F_{ave} は連続鋳造する際の指標には適切ではないが、 F_{\max} が指標として有効であることが分かる。

〈第 5 実施例〉

第4実施例と同様に、連続鑄造設備でスラブを鑄造した。得られたスラブの欠陥混入率と溶鋼流速との関係を図34に示す。なお、欠陥混入率とローレンツ力最大値 F_{max} との関係は図26に示す通りである。

これらの結果から、溶鋼流速 V とローレンツ力最大値 F_{max} について詳細に検討した結果、図35に示すように、 $V \times F_{max}$ の値が3000以上であれば、欠陥混入率を低減できることが分かった。但し、 $V \times F_{max}$ 値が6000を超えても欠陥混入率低減の効果は飽和し、欠陥混入率が一定の水準で推移する。

産業上の利用可能性

本発明によれば、浸漬ノズルから不活性ガスを吹き込むことなく連続鑄造を行ない、モールドフラックスの巻き込みを抑制して鑄片の内部品質を向上し、かつ介在物や気泡の捕捉を抑制して鑄片の表面品質を向上できる。

請 求 の 範 囲

1. 連続铸造用鑄型の長辺方向に沿って3個以上の電磁石を並べ、振動磁界を発生させながら前記振動磁界のピーク位置を前記長辺方向に沿って移動させることを特徴とする鋼の連続铸造方法。
2. 前記3個以上の電磁石のうち、隣り合う電磁石に装着されるコイルの位相が、 n 、 $2n$ 、 n あるいは n 、 $3n$ 、 $2n$ の配列部分を有することを特徴とする請求項1に記載の鋼の連続铸造方法。
3. 前記振動磁界に加えて、直流磁界を鑄片の厚み方向に重畳することを特徴とする請求項1または2に記載の鋼の連続铸造方法。
4. 前記鑄型内の未凝固の溶鋼の介在物を低融点化することにより、前記溶鋼を前記鑄型へ供給するノズルの閉塞を防止して、前記ノズルから不活性ガスを吹き込むことなく連続铸造を行なうことを特徴とする請求項1、2または3に記載の鋼の連続铸造方法。
5. 前記溶鋼が、 $C \leq 0.020$ 質量%、 $Si \leq 0.2$ 質量%、 $Mn \leq 1.0$ 質量%、 $S \leq 0.050$ 質量%、 $Ti \geq 0.010$ 質量%を含み、 $Al \leq [質量\% Ti] / 5$ の条件を満足する組成からなる極低炭素Ti脱酸鋼であることを特徴とする請求項4に記載の鋼の連続铸造方法。
6. 前記溶鋼を製造するに当り、前記溶鋼をまず真空脱ガス装置による脱炭処理した後、Ti含有合金によって脱酸し、その後、脱酸溶鋼中に $Ca \geq 10$ 質量%及びREM ≥ 5 質量%の1種又は2種とFe、Al、Si及びTiのうちから選ばれる1種又は2種以上を含有する介在物組成調整用合金を添加することにより、前記溶鋼中の酸化物組成をCaOおよびREM酸化物のいずれか少なくとも1種の含有量が10質量%以上50質量%以下で、かつTi酸化物が90質量%以下、

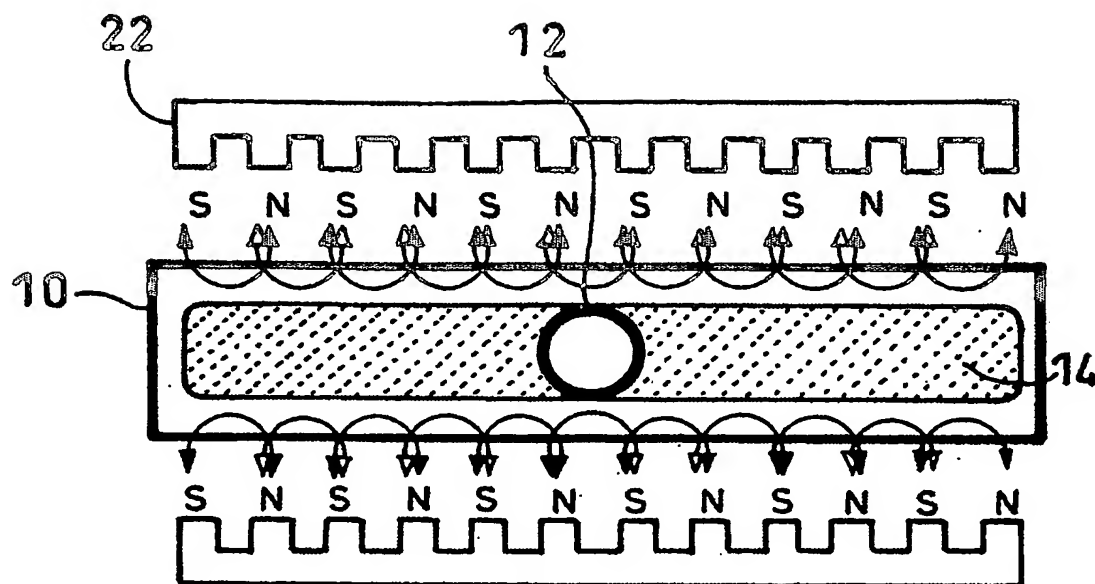
Al_2O_3 が 70 質量%以下にすることを特徴とする請求項 5 に記載の鋼の連続製造方法。

7. 前記脱炭処理後の溶鋼を、前記 Ti 含有合金による脱酸処理に先立って、Al、Si、Mn のいずれかにて予備脱酸することにより、溶鋼中の溶存酸素濃度を予め 200 ppm 以下にすることを特徴とする請求項 6 に記載の鋼の連続製造方法。

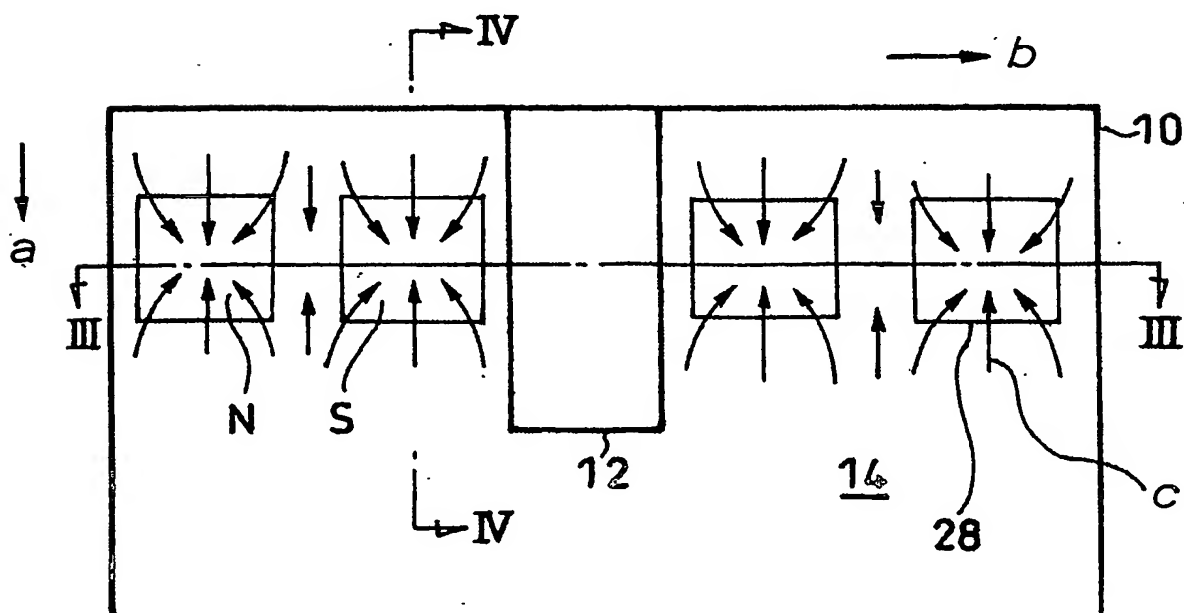
8. 前記振動磁界によって駆動されるローレンツ力の最大値を $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下にすることを特徴とする請求項 1、2、3、4、5、6 または 7 に記載の鋼の連続製造方法。

9. 前記鑄型内の未凝固の溶鋼の流速を $V \text{ (m/s)}$ とし、前記振動磁界によって駆動されるローレンツ力の最大値を $F_{\max} \text{ (N/m}^3\text{)}$ とするとき、 $V \times F_{\max}$ が $3000 \text{ (N/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}$ 以上になるように調整することを特徴とする請求項 1、2、3、4、5、6、7 または 8 に記載の鋼の連続製造方法。

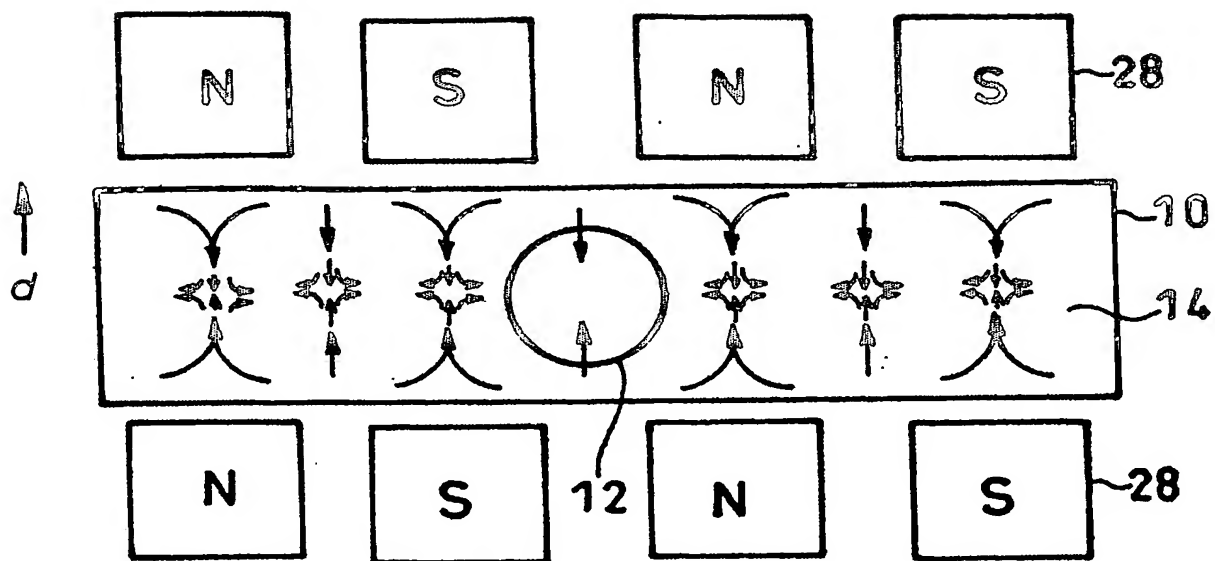
1



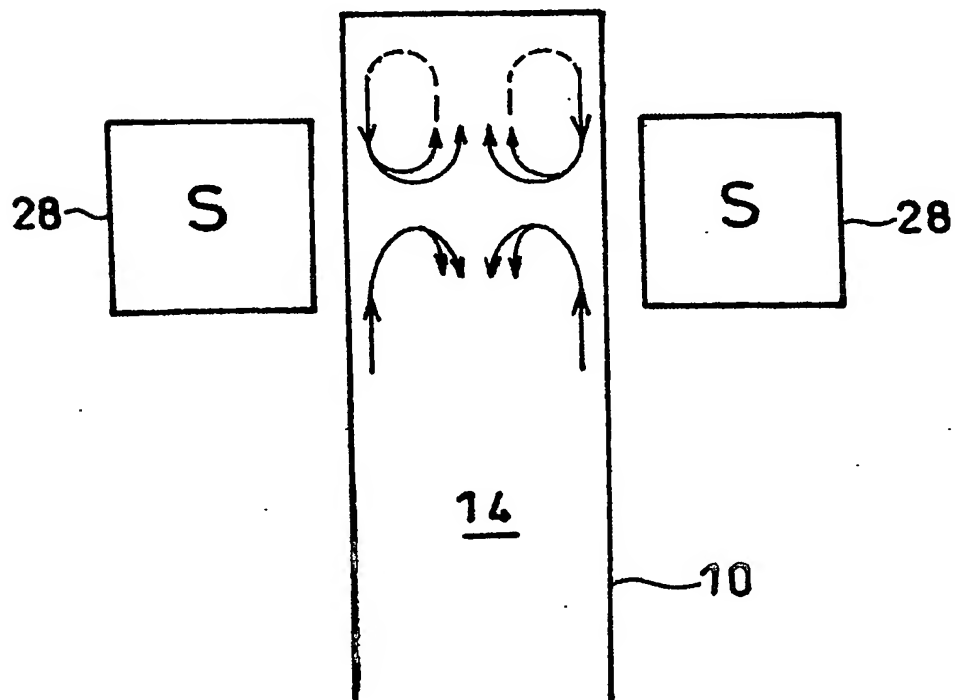
2



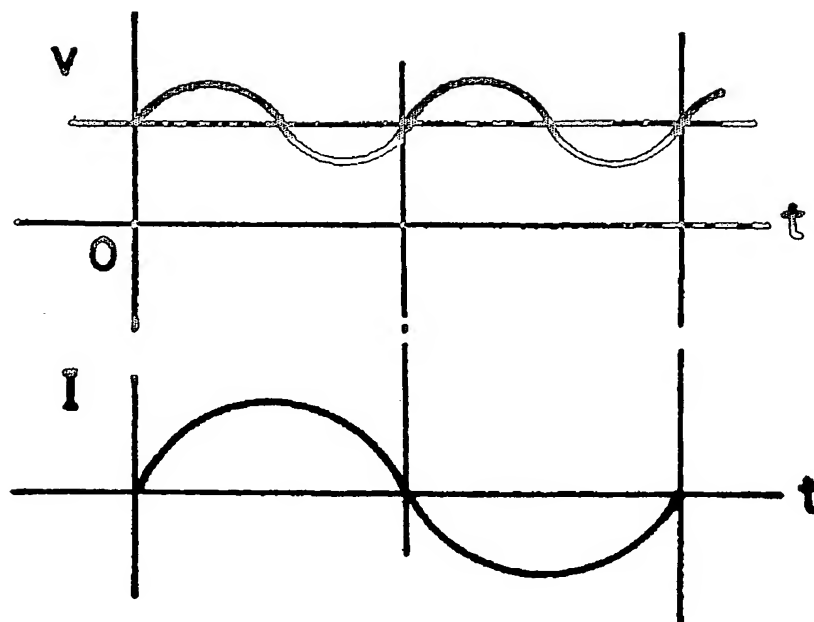
3



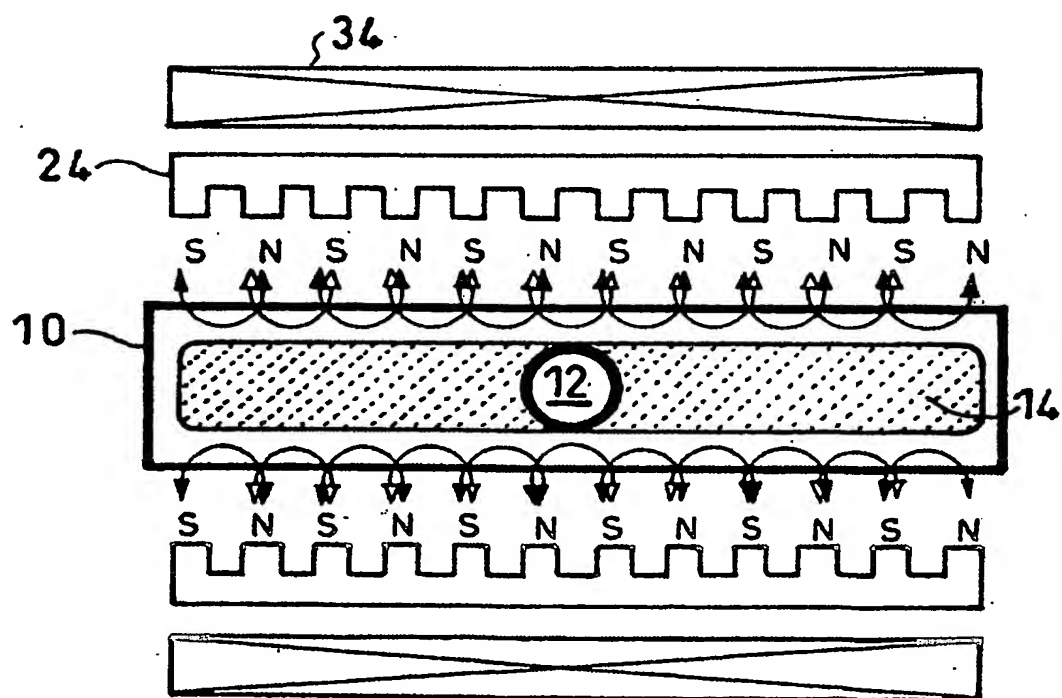
4



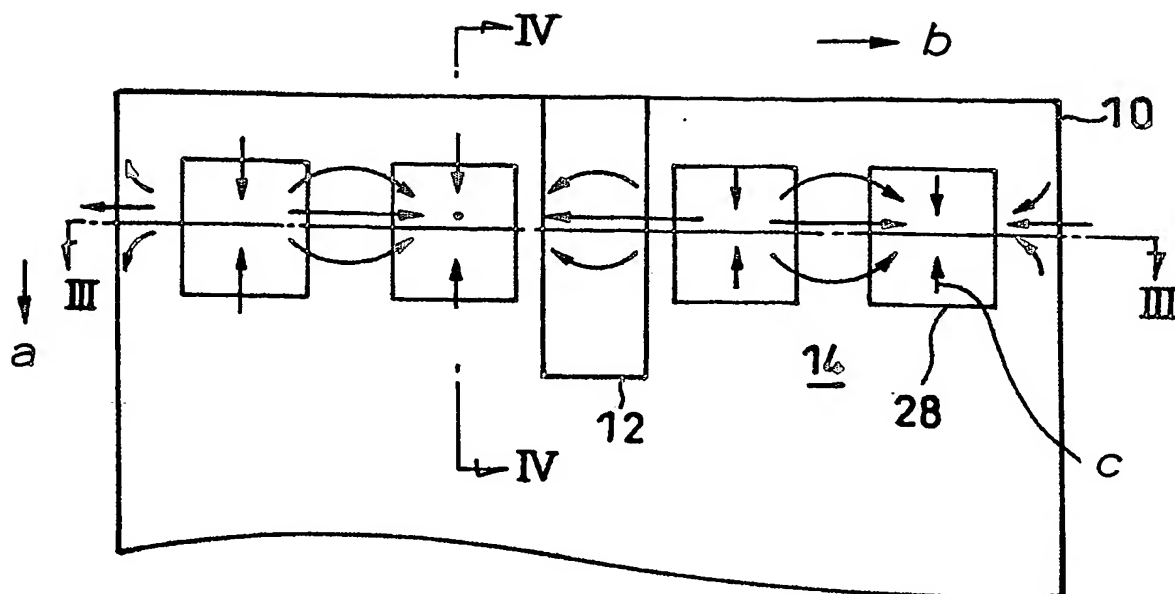
5



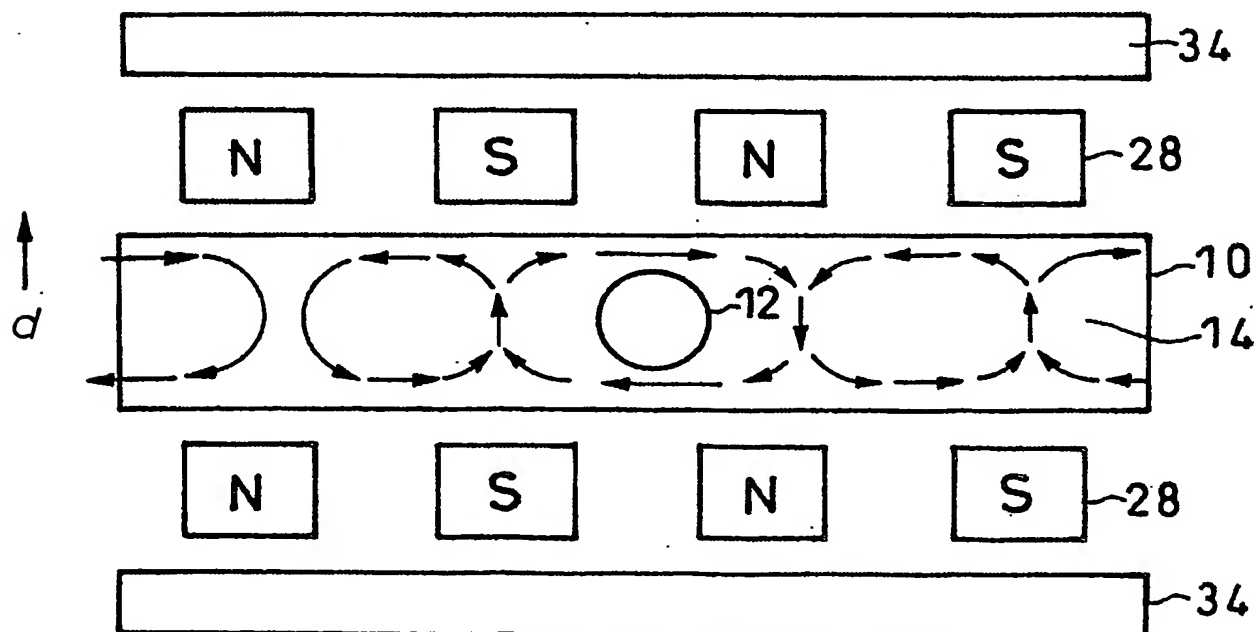
6



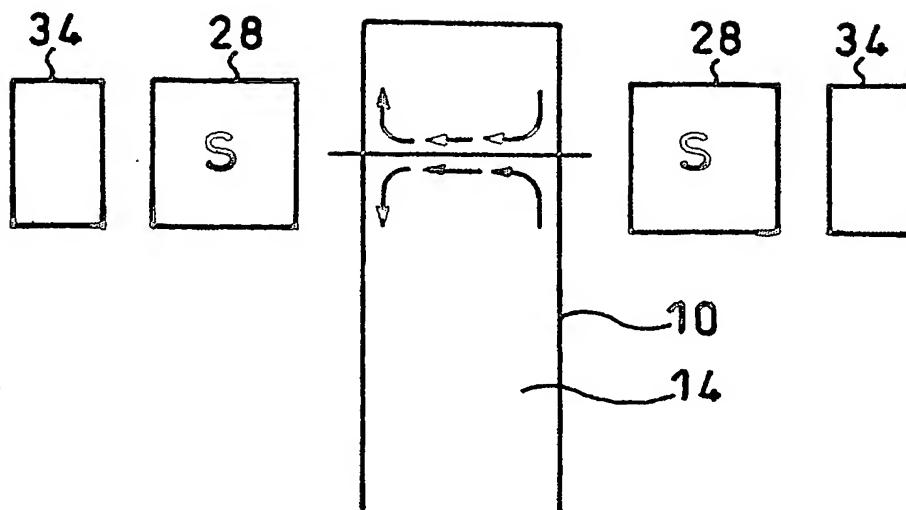
7



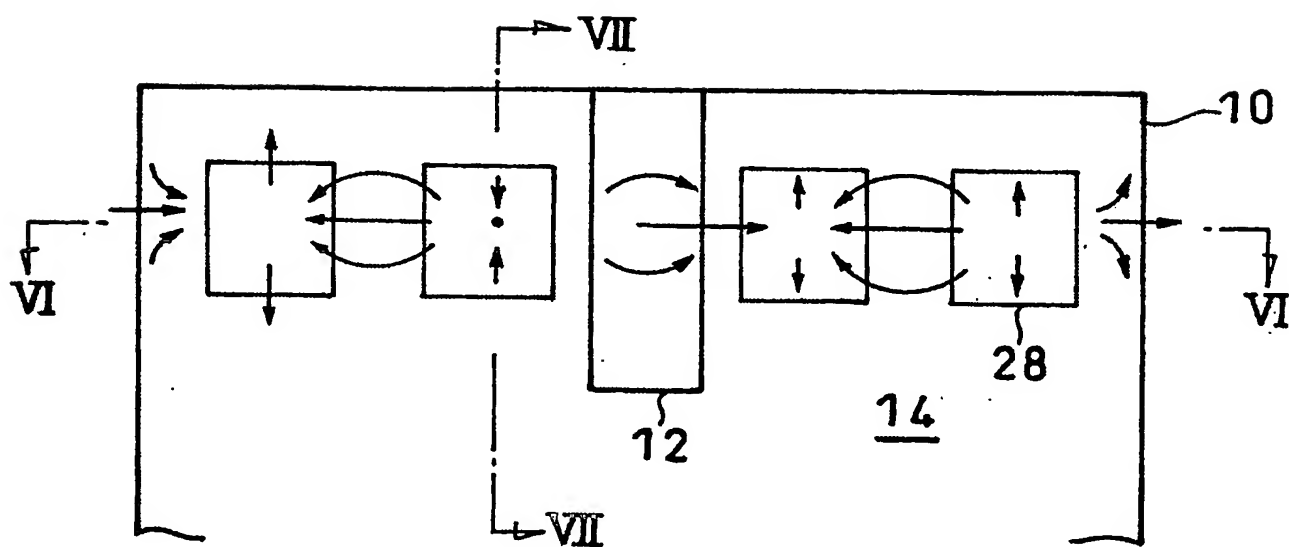
8



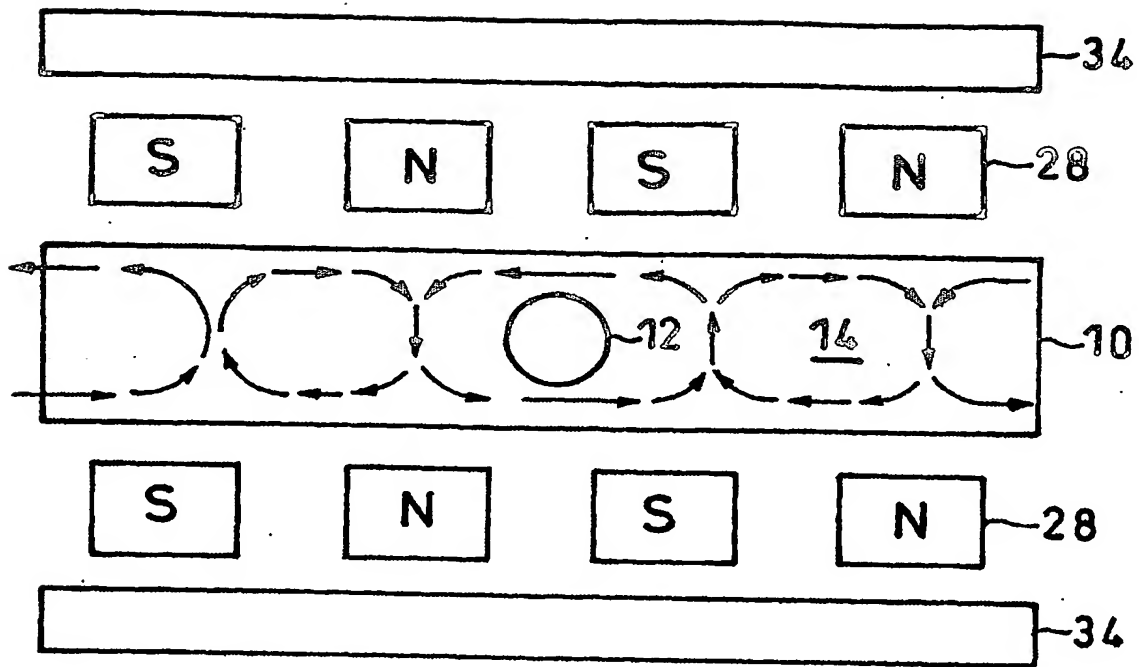
9



10



1 1



1 2

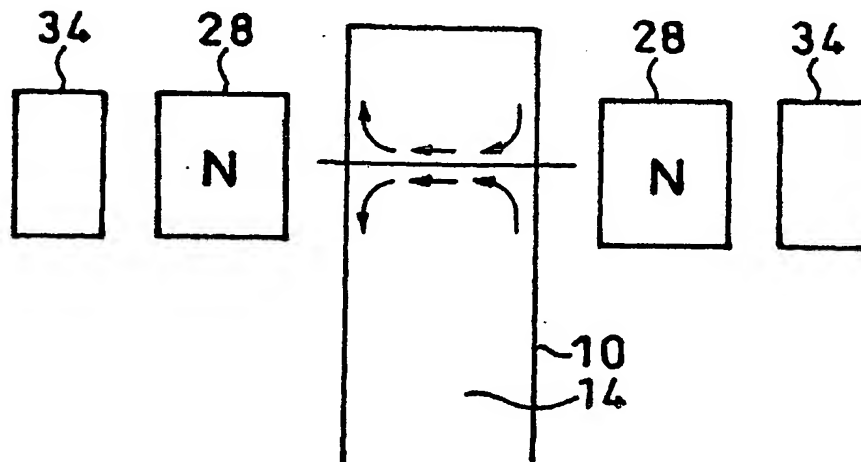


図 13

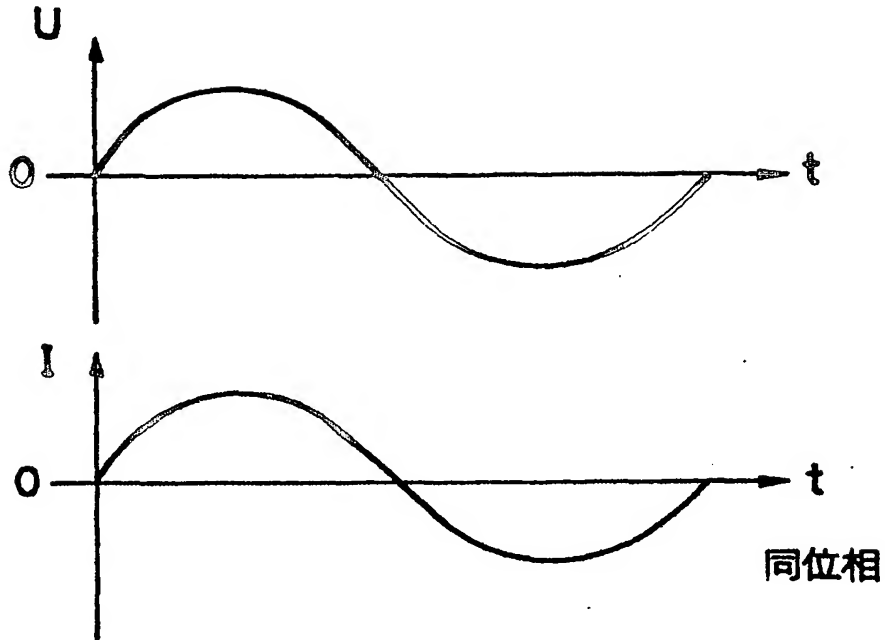
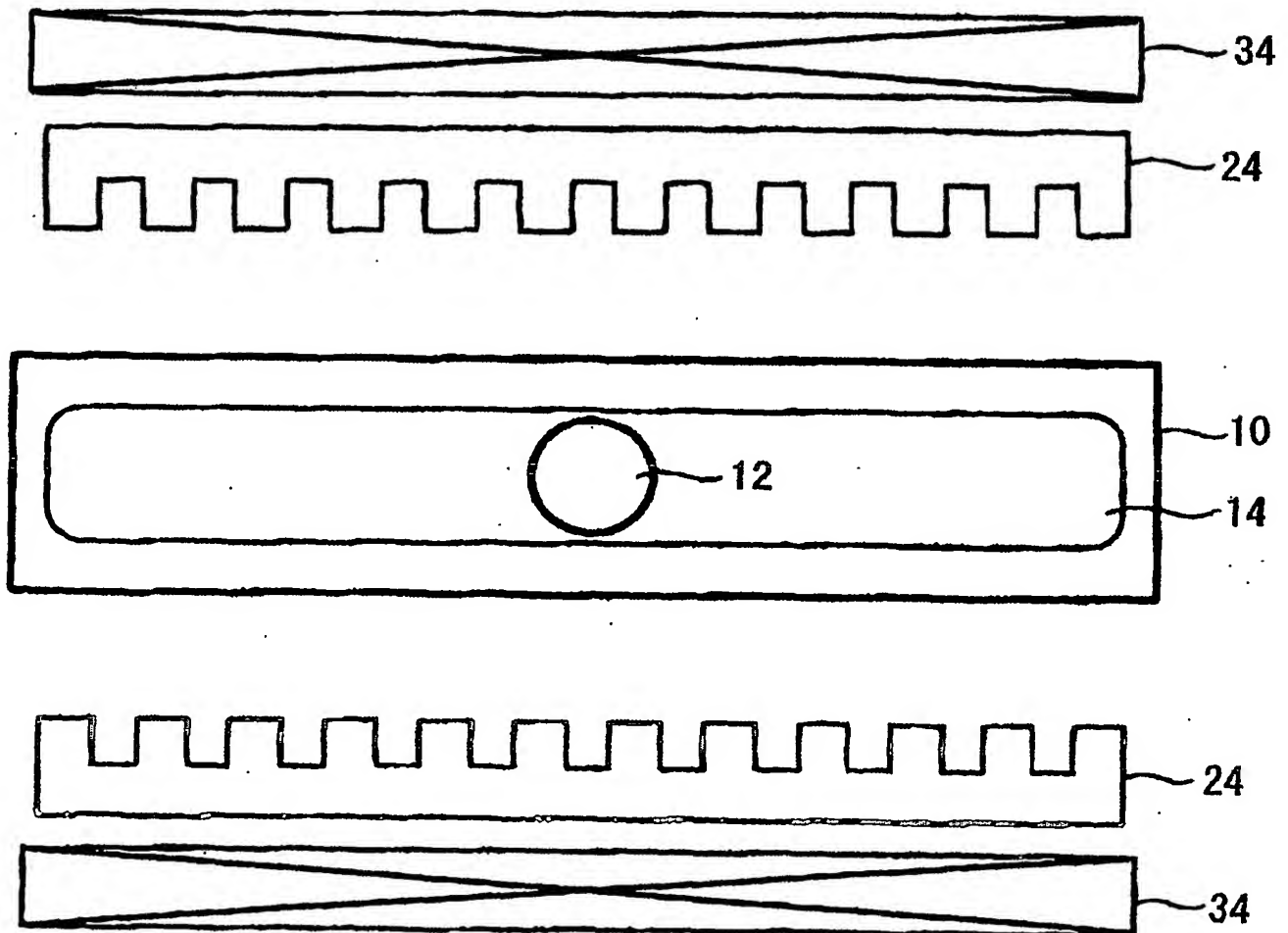
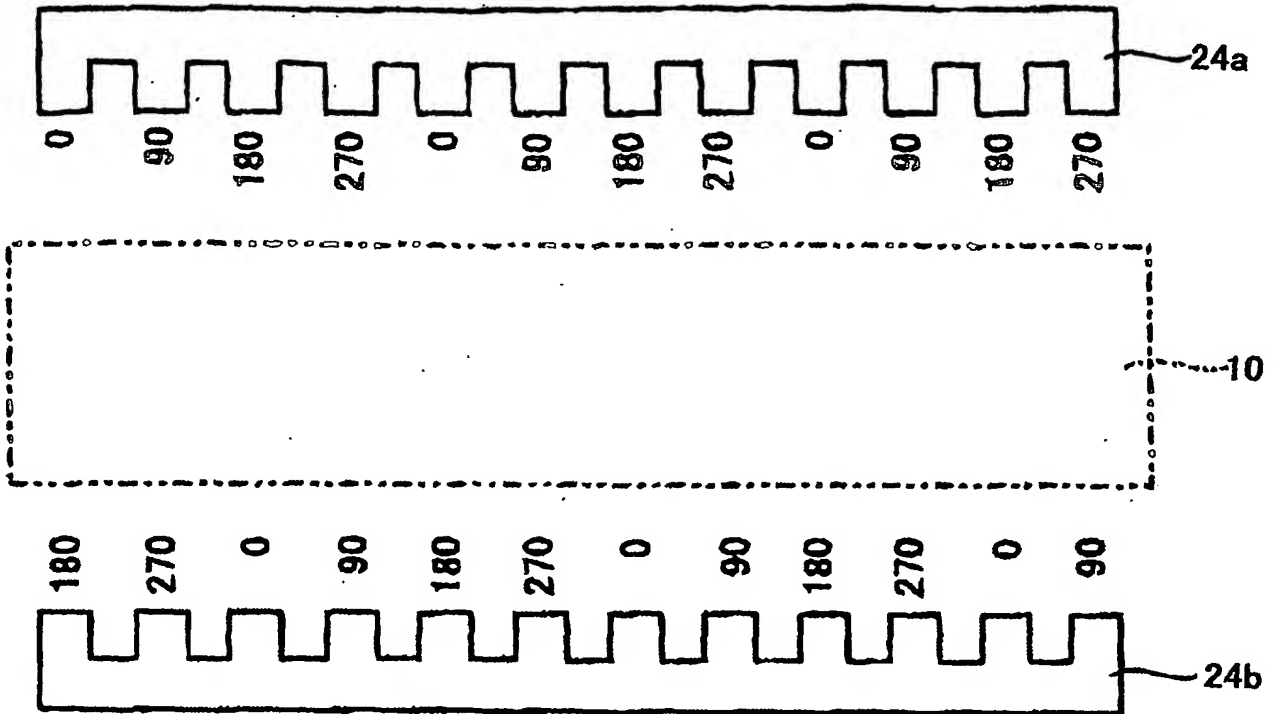


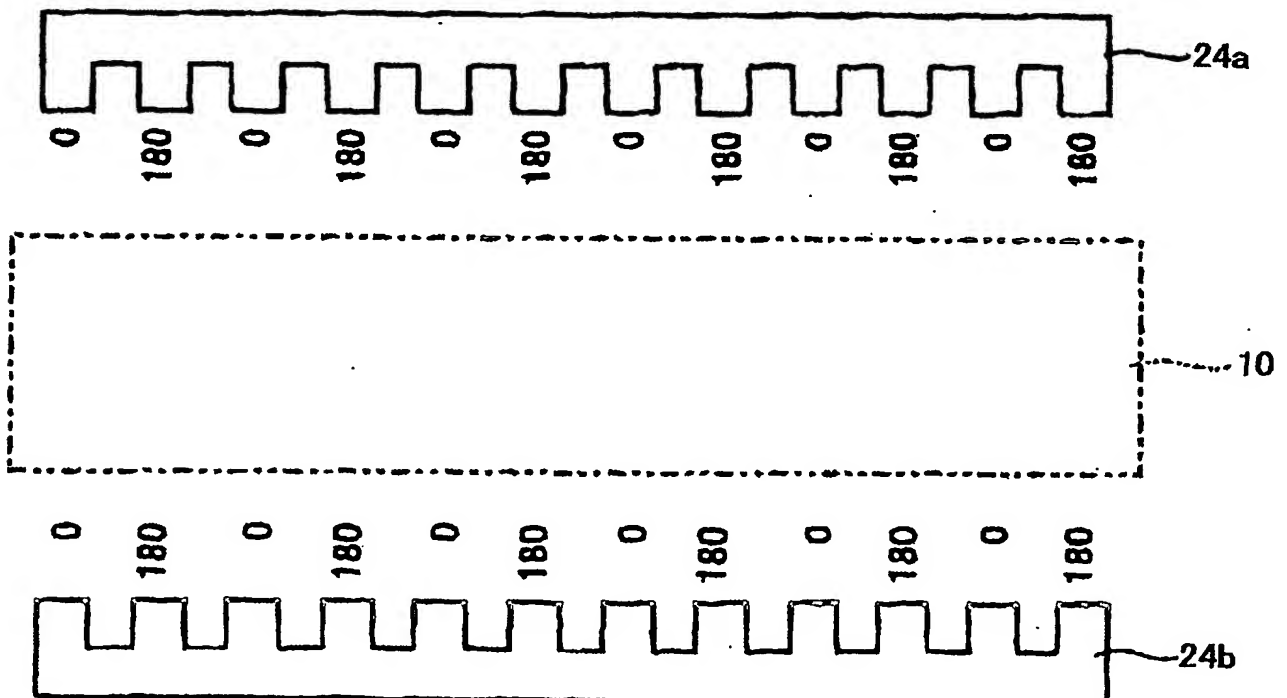
図 14



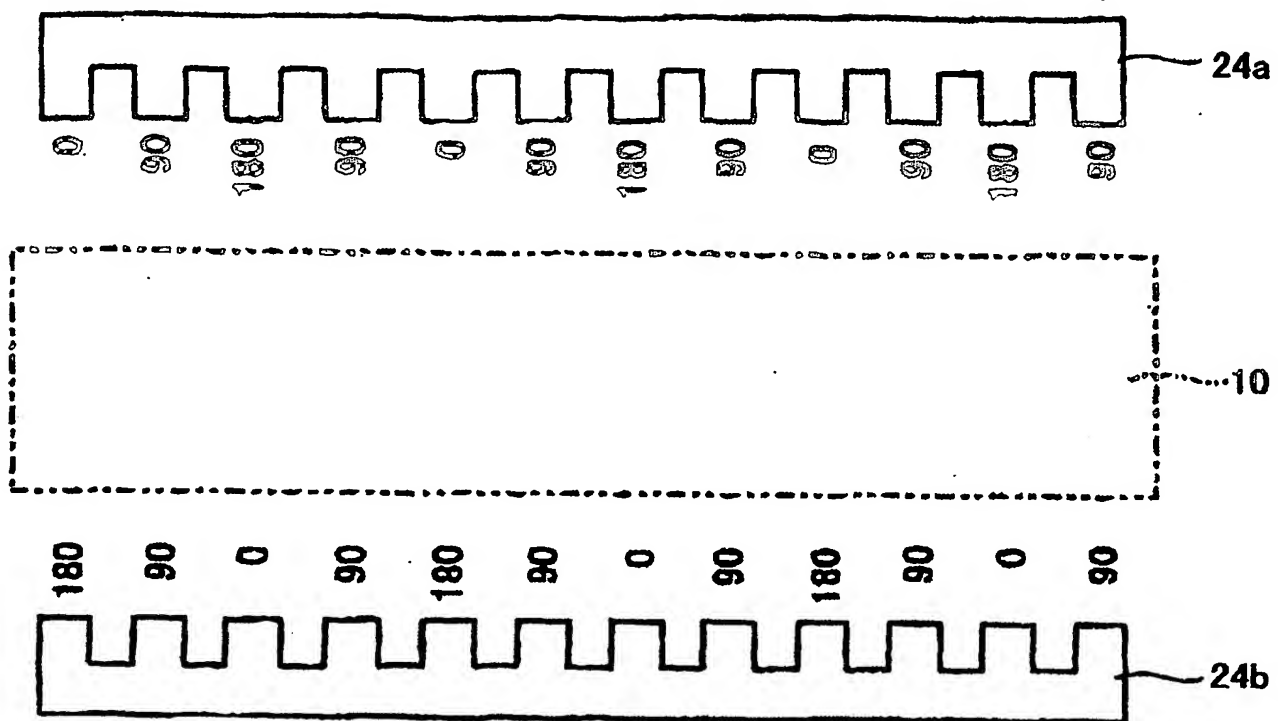
1 5



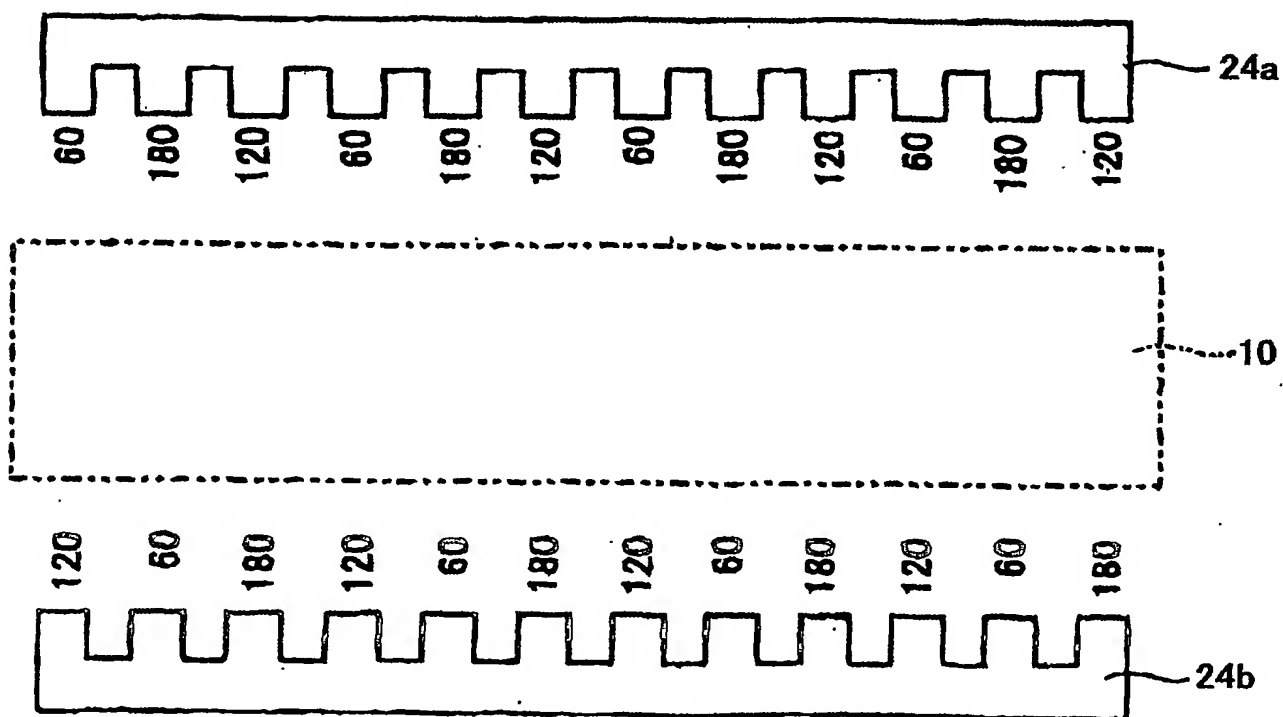
1 6



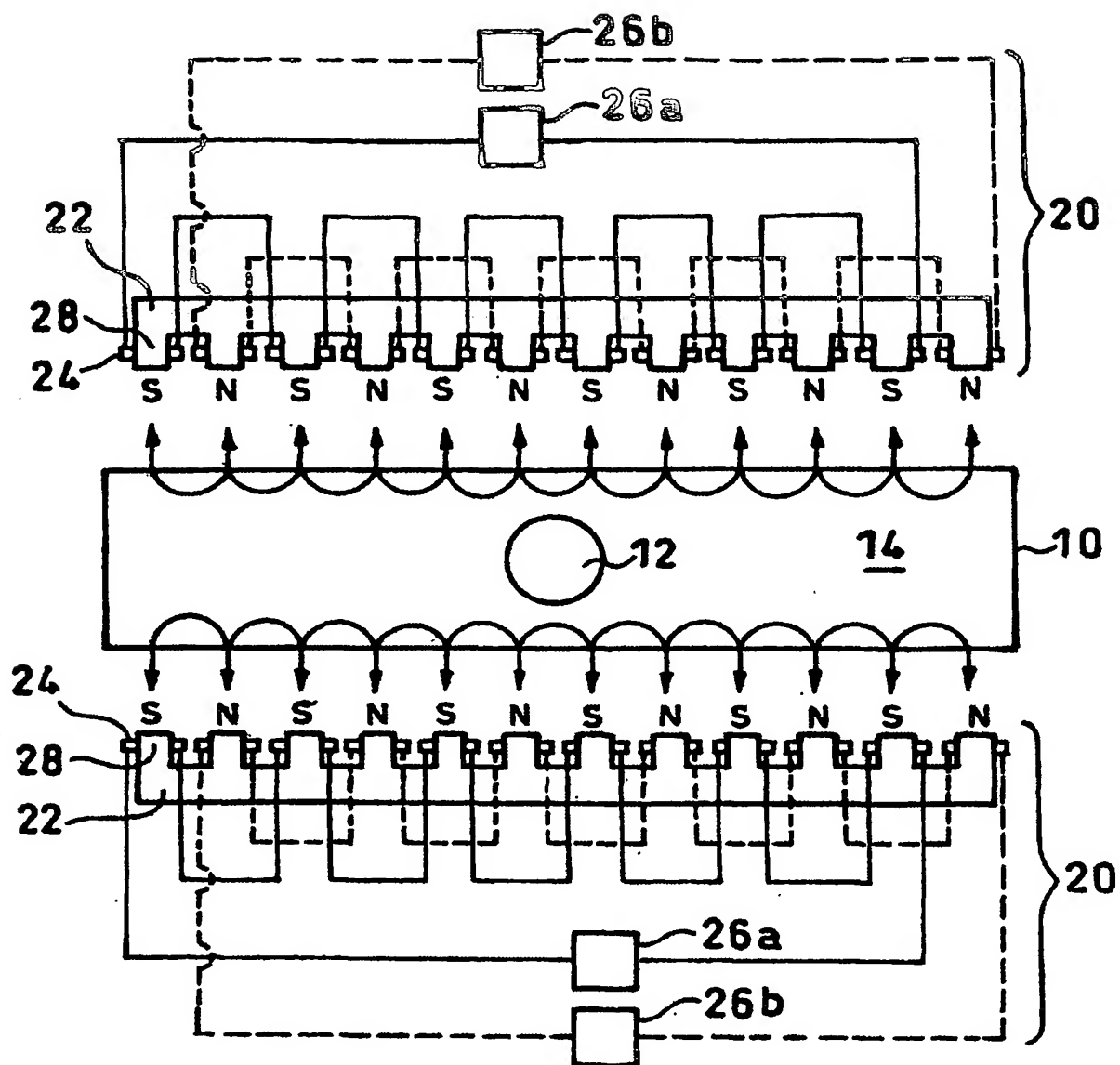
17

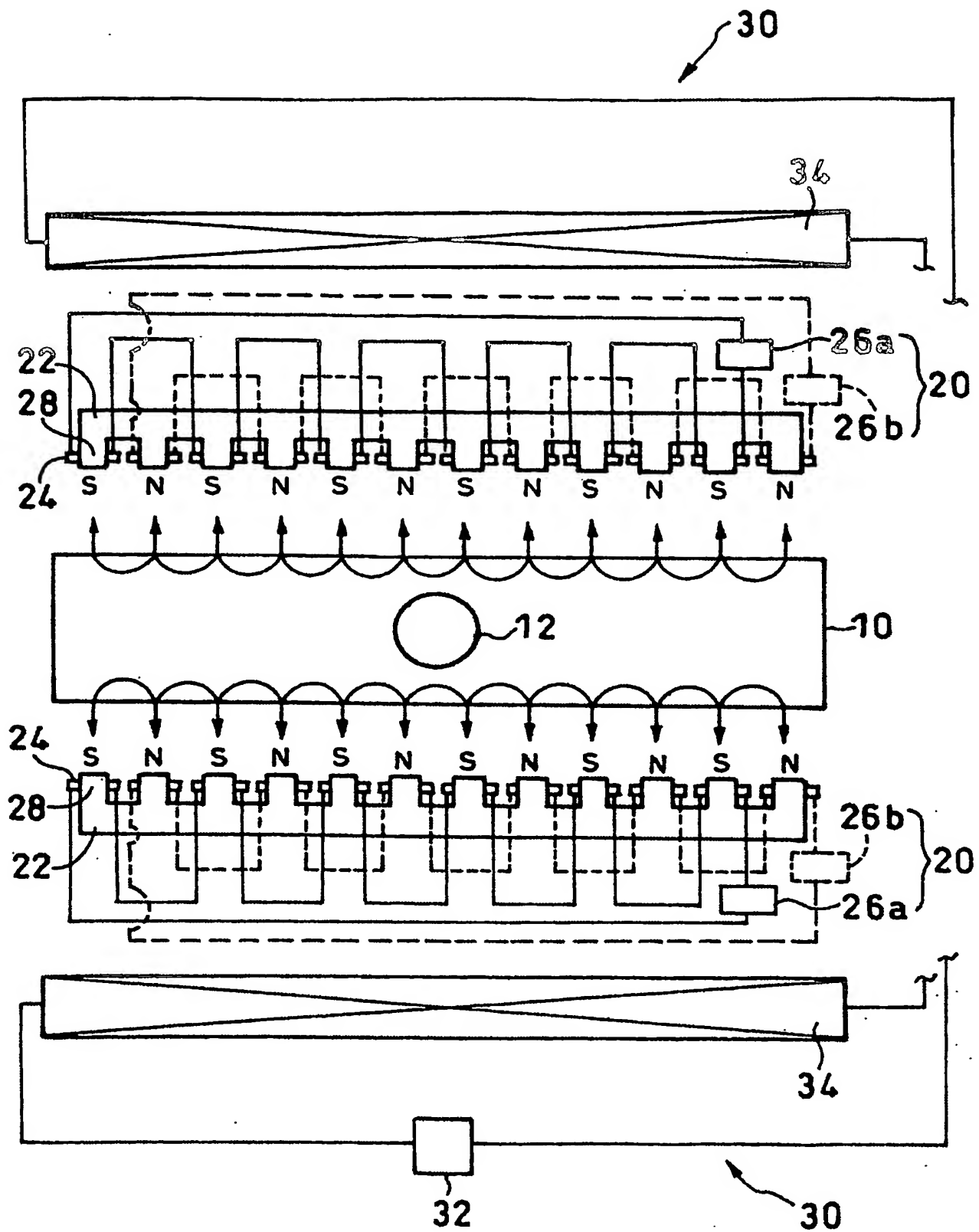


18

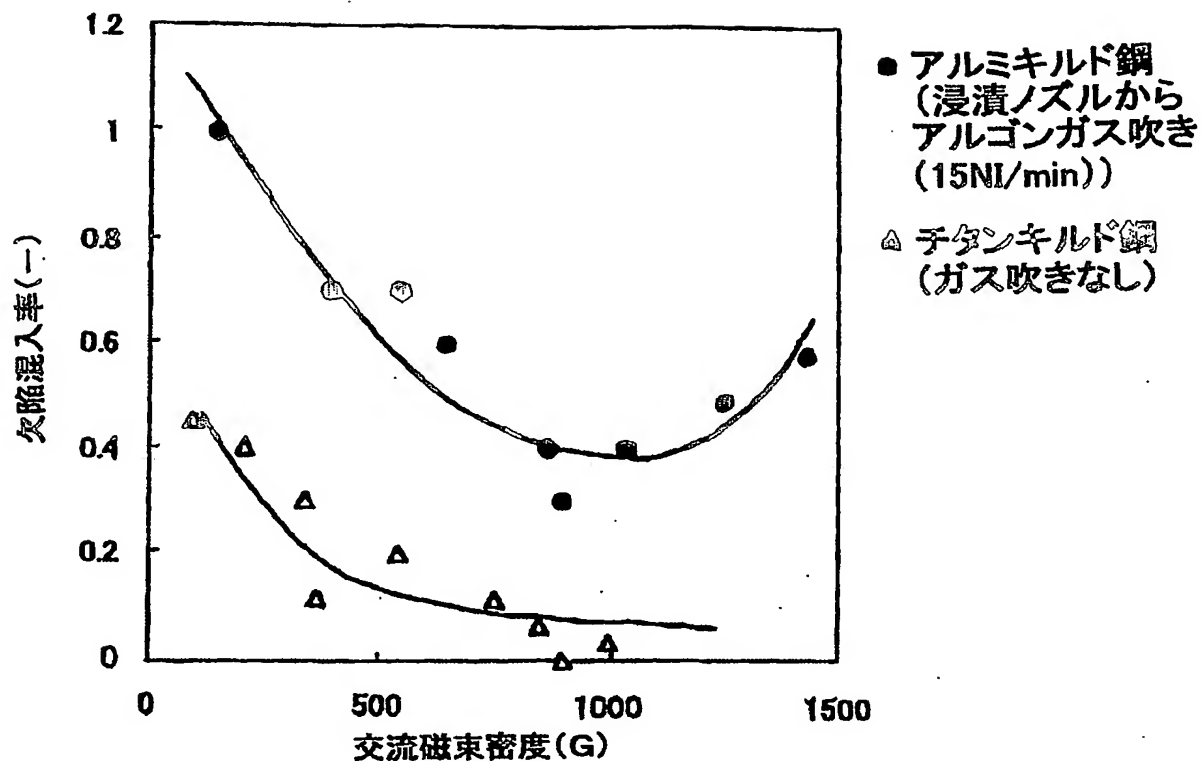


19

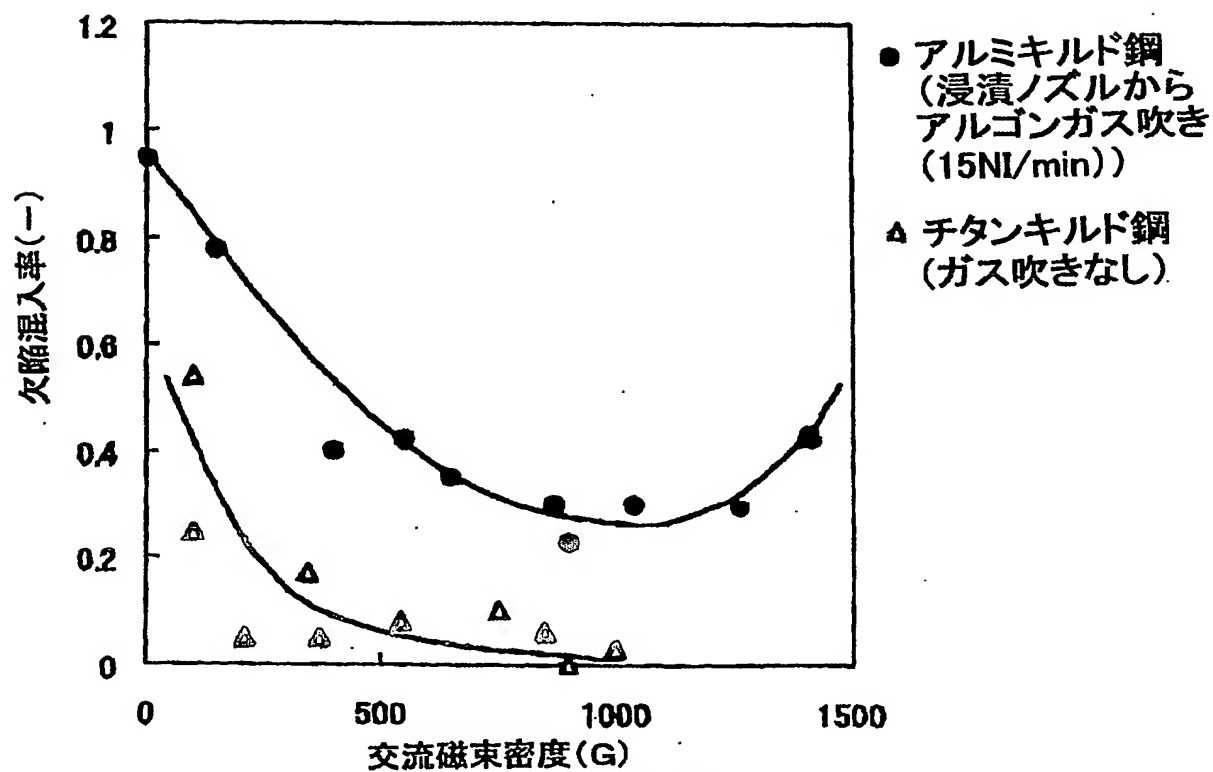


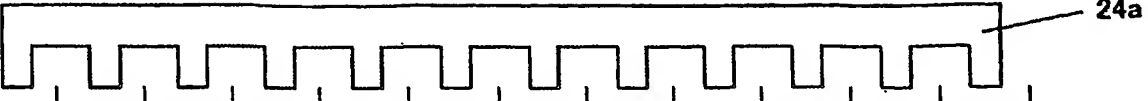


2 1




2 2





 2 3

T_1	0	90	180	270	0	90	180	270	0	90	180	270
T_2	90	180	270	0	90	180	270	0	90	180	270	0
T_3	180	270	0	90	180	270	0	90	180	270	0	90
T_4	270	0	90	180	270	0	90	180	270	0	90	180


 2 4

T_1	0	90	180	90	0	90	180	90	0	90	180	90
T_2	90	180	90	0	90	180	90	0	90	180	90	0


 2 5

T_1	60	180	120	60	180	120	60	180	120	60	180	120
T_2	180	120	60	180	120	60	180	120	60	180	120	60
T_3	120	60	180	120	60	180	120	60	180	120	60	180

図 26

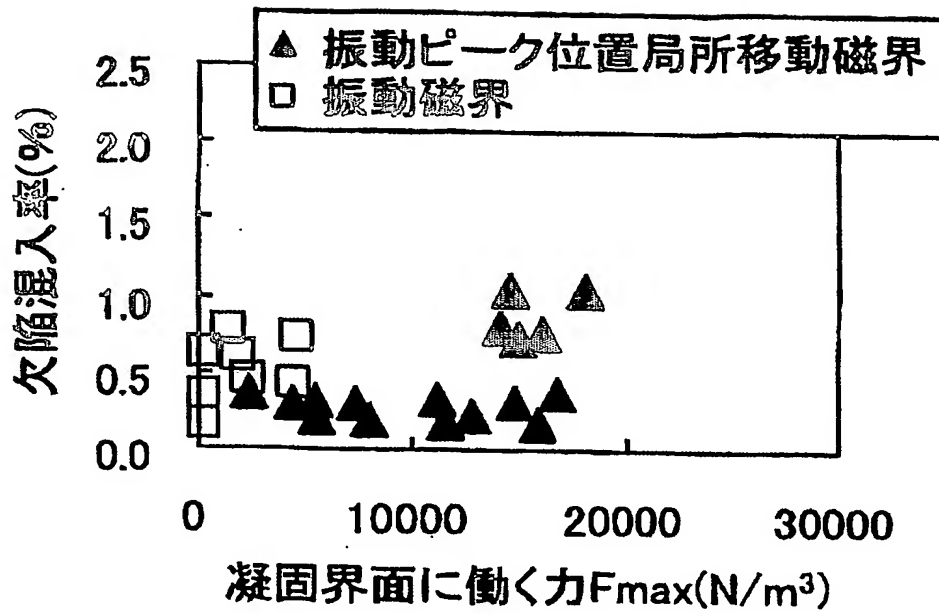


図 27

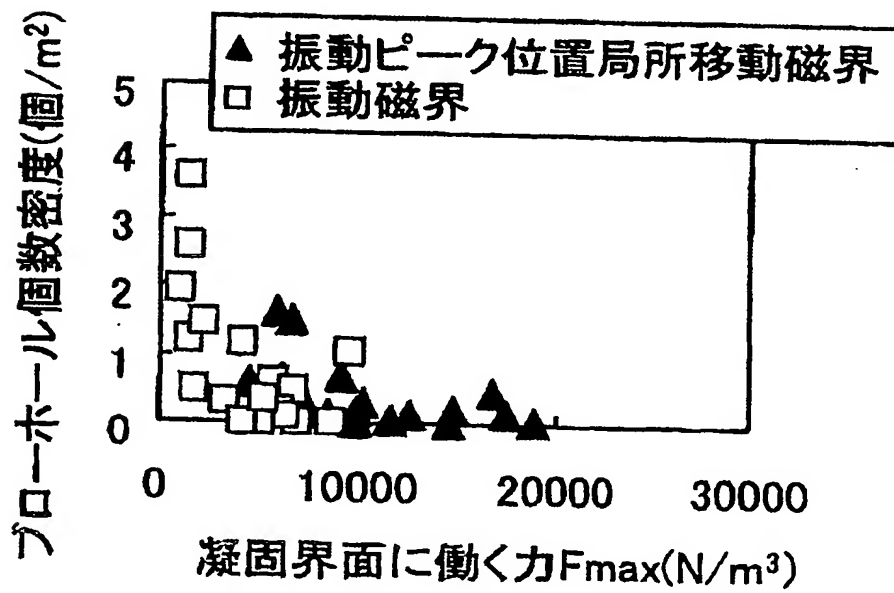


図 28

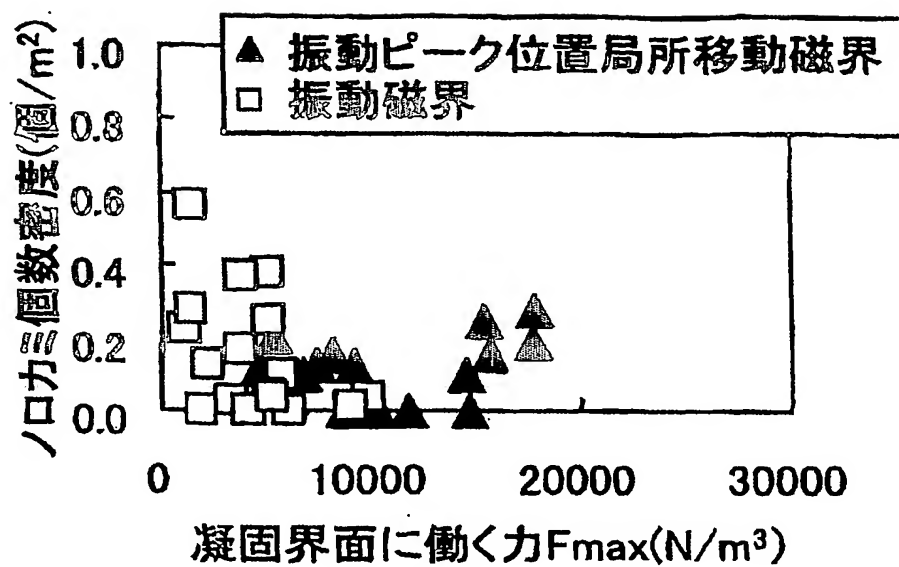


図 29

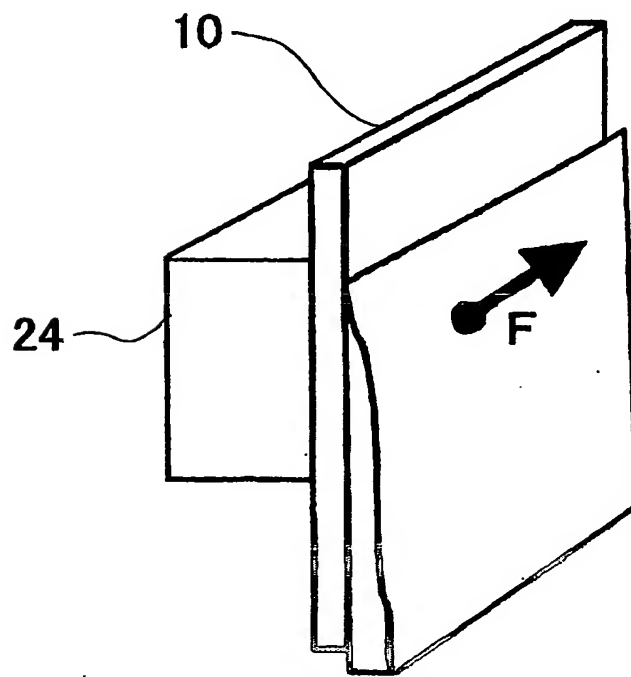


図 30

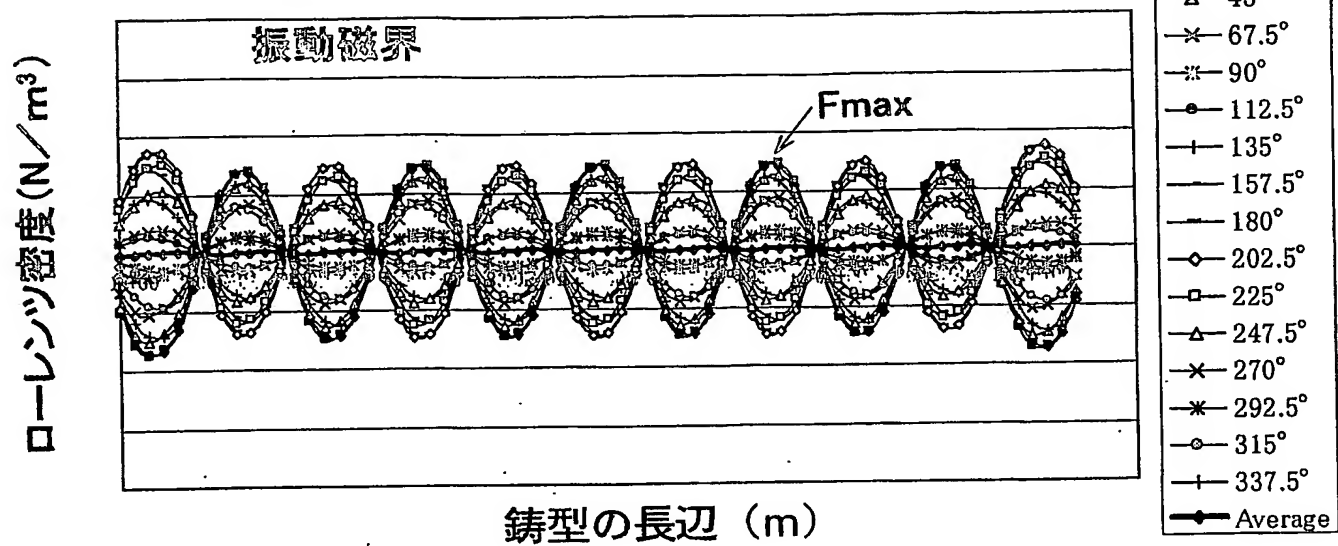


図 31

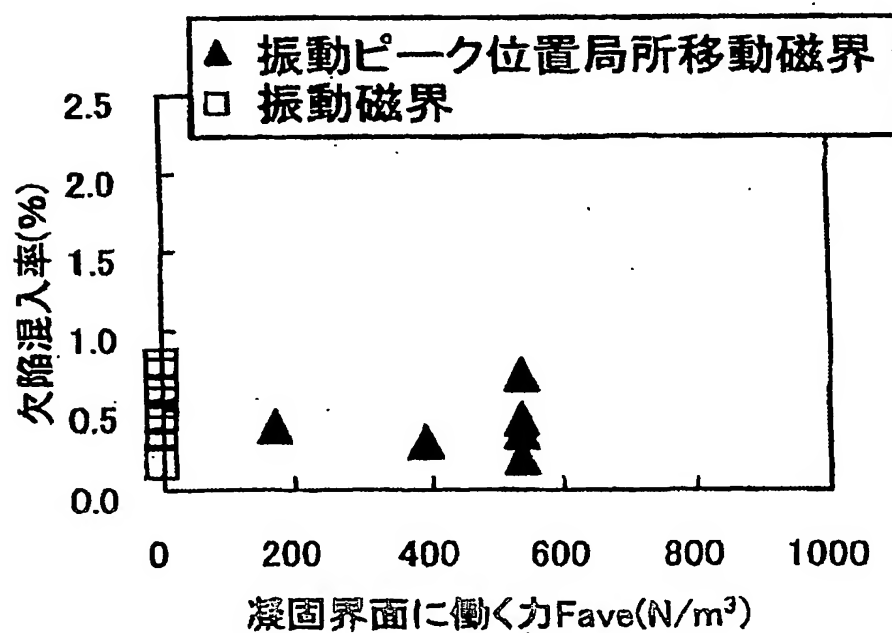


図 3 2

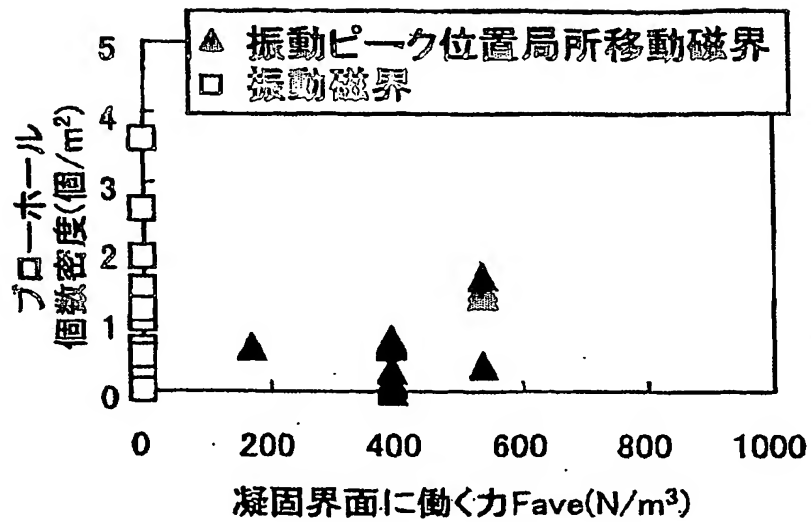


図 3 3

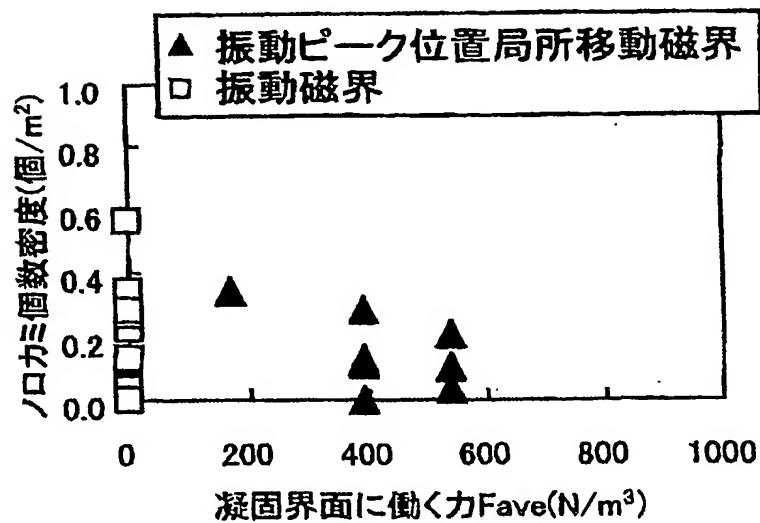


図 3 4

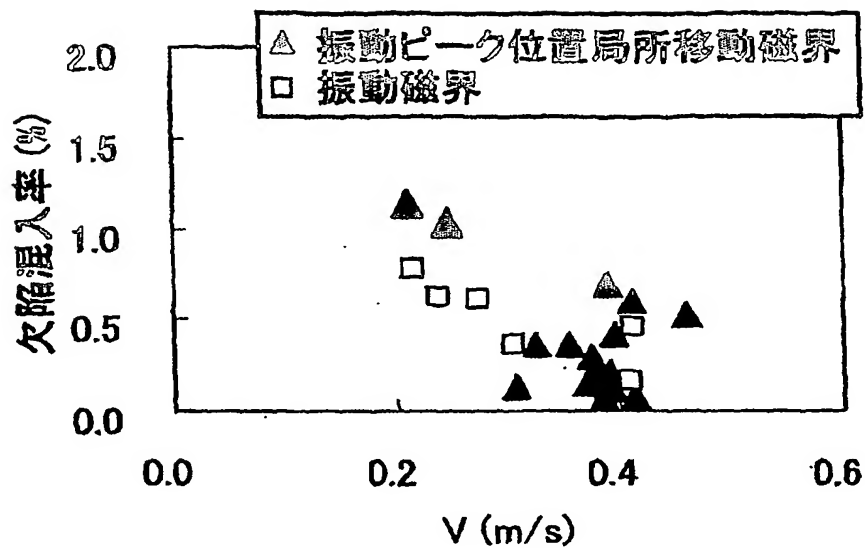
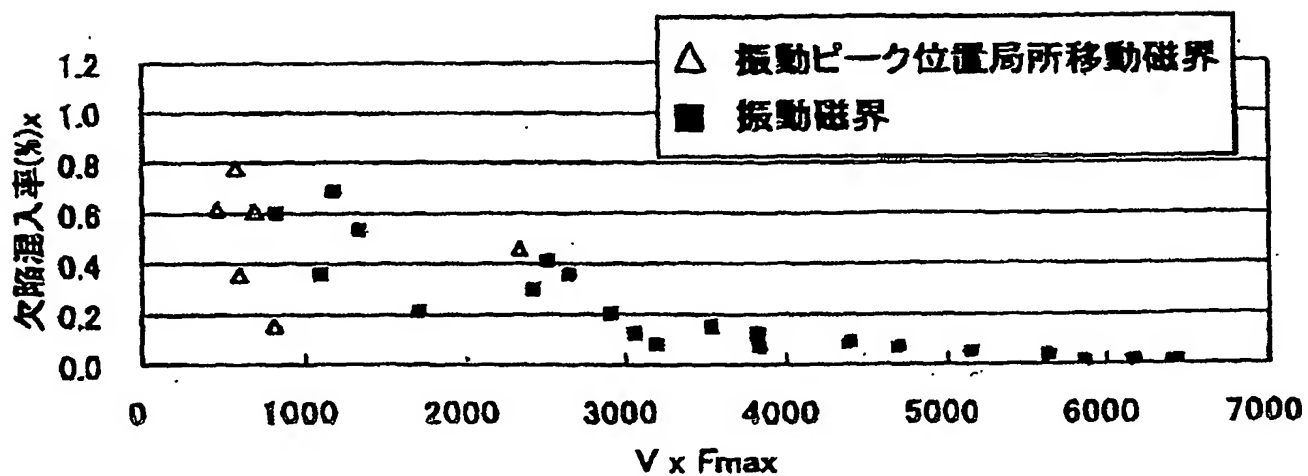


図 3 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000864

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ B22D11/115, 11/04, 11/108, 11/11, 11/113, C22C38/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B22D11/115, 11/04, 11/108, 11/11, 11/113, C22C38/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-28763 A (Kawasaki Steel Corp.), 29 January, 2002 (29.01.02), Claims & EP 1172158 A1 (Kawasaki Steel Corp.), 16 January, 2002 (16.01.02), Claims	1-9
A	JP 2003-103348 A (Kawasaki Steel Corp.), 08 April, 2003 (08.04.03), Claims (Family: none)	1-9
A	JP 2003-103349 A (Kawasaki Steel Corp.), 08 April, 2003 (08.04.03), Claims (Family: none)	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 May, 2004 (06.05.04)Date of mailing of the international search report
25 May, 2004 (25.05.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000864

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-100611 A (Kawasaki Steel Corp.), 13 April, 1999 (13.04.99), Claims & US 6117389 A (Kawasaki Steel Corp.), 12 September, 2000 (12.09.00), Claims	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁷ B22D11/115, 11/04, 11/108, 11/11, 11/113, C22C38/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁷ B22D11/115, 11/04, 11/108, 11/11, 11/113, C22C38/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP2002-28763 A (川崎製鉄株式会社), 2002.01.29, 特許請求の範囲 & EP 1172158 A1 (Kawasaki Steel Corporation), 2002.01.16, Claims	1-9
A	JP2003-103348 A (川崎製鉄株式会社), 2003.04.08, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-9
A	JP2003-103349 A (川崎製鉄株式会社), 2003.04.08, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.05.2004

国際調査報告の発送日

25.5.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小柳 健悟

4E

8417

電話番号 03-3581-1101 内線 3423

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-100611 A (川崎製鉄株式会社), 1999. 04. 13, 特許請求の範囲 & US 6117389 A (Ka wasaki Steel Corporation), 2000. 09. 12, Cla i m s	1-9